AUS DER 3. MEDIZINISCHEN KLINIK AM
STÄDTISCHEN KLINIKUM NÜRNBERG
VORSTAND: PROF. DR. HELMUTH KLEINFELDER

Das Volumen-Resistance-Diagramm, aufgezeichnet mit der oszillatorischen Meßmethode.

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n
verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von

Ernst - Helmut B a u m a n n
aus München

Nürnberg, den 26. Februar 1981

AUS DER 3. MEDIZINISCHEN KLINIK AM
STÄDTISCHEN KLINIKUM NÜRNBERG
VORSTAND: PROF. DR. HELMUTH KLEINFELDER

Das Volumen-Resistance-Diagramm, aufgezeichnet mit der oszillatorischen Meßmethode.

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n
verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von

Ernst - Helmut B a u m a n n
aus München

Nürnberg, den 26. Februar 1981

Referent:	Prof. Dr. H. Kleinfelder
Korreferent:	Prof. Dr. H. Franke
Dekan:	Prof. Dr. K.-H. Wulf

Tag der mündlichen Prüfung: 7.12.1981

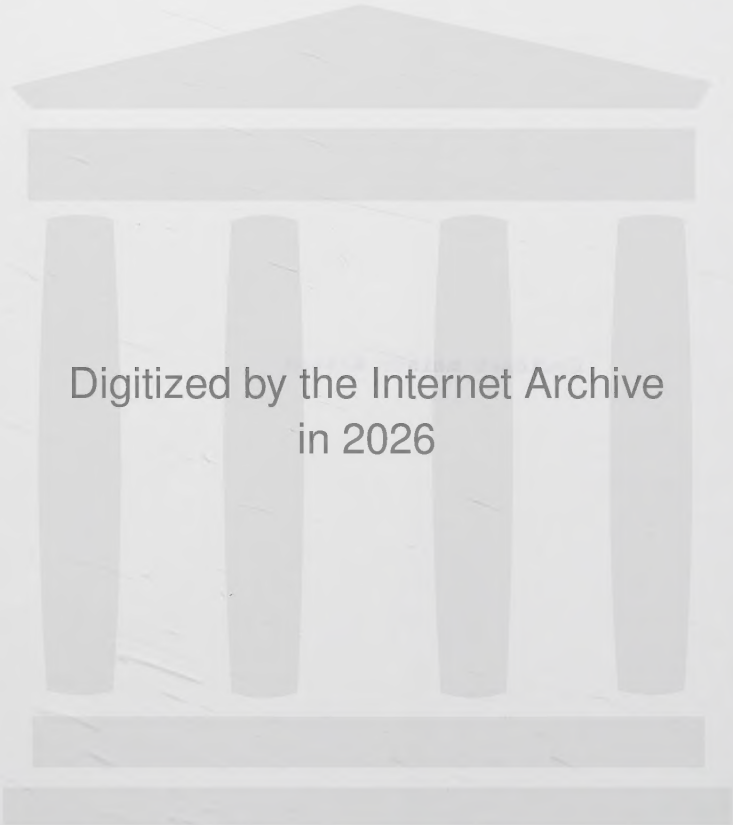
UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der Universität Würzburg

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Symbole	I
Verwendete Formeln	III
Einleitung	1
Patientengut	5
Physikalische Grundlagen und Methodik	9
Kurvencharakteristik	13
Auswertung	19
Ergebnisse	24
Statistik	48
Diskussion	56
Zusammenfassung	67
Literaturverzeichnis	69
Lebenslauf	75

Gewidmet meinen Eltern


Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543520_0106

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Symbole

A = Alter

AZV = Atemzugvolumen

AZVos = Atemzugvolumen aus dem Volumen-Resistance-Diagramm

α = Irrtumswahrscheinlickeit bei einem statistischen Test

dtg1 = Differenz aus tg 1 und tgR1

dtg2 = Differenz aus tg 1 und tgR2

dtg3 = Differenz aus tg 3 und tgR3

EF = Emphysemfaktor $\frac{1}{RF}$

F-Test = statistischer Test zur Überprüfung einer Nullhypothese

G = Körpergröße

IGV = Intrathorakales Gasvolumen, gemessen

IGVsoll = Intrathorakales Gasvolumen, berechnet nach Ulmer/Nolte

IGV% = Intrathorakales Gasvolumen in % der TK

RF = Restriktionsfaktor $\frac{VKsoll + TKsoll}{VKist + VKist}$

Ros = Atemwiderstand gemessen mit der Oszillationsmethode

RosMin = niedrigster Wert für Ros in tiefer Inspiration

RosP = Ros am Beginn der Plateauphase im VRD

RosA = Ros am Beginn des steilen Anstiegs im VRD

RosRI = Ros bei Ruheatmung in Inspirationsstellung im VRD

RosRM = Ros bei Ruheatmung als Maximalwert im VRD

RosMit = Mittelwert aus RosRI und RosRM

RosR = aus bekannter Formel errechneter Normwert für RosMit

RosD = Differenz aus RosMit und RosR

RT = Raw = Resistance (Atemwegswiderstand gemessen mit dem Ganzkörperplethysmographen)
RV = Residualvolumen gemessen
RVsoll = Residualvolumen, berechnet nach Amrein
RV% = Residualvolumen in % der TK
RVI = inspiratorisches Reservevolumen
RVIos = inspiratorisches Reservevolumen aus dem VRD
RVE = exspiratorisches Reservevolumen
RVEos = exspiratorisches Reservevolumen aus dem VRD
1secKap = absolute Sekundenkapazität
1secKap% = Sekundenkapazität in % von VK
TK = Totalkapazität gemessen
TKsoll = Totalkapazität Sollwert
TK% = Totalkapazität in % von TKsoll
Va = ausgeatmetes Volumen in tiefer Inspiration bis zum steilen Anstieg im VRD
VK = Vitalkapazität des Patienten
VKos = Vitalkapazität gewonnen aus dem VRD
Vk% = Vitalkapazität in % der Vksoll
Vksoll = Vitalkapazität Sollwert nach Amrein
Vp = ausgeatmetes Volumen von tiefer Inspiration bis zum Beginn der Plateauphase im VRD
VRD = Volumen-Resistance-Diagramm, gewonnen mit der oszillatorischen Meßmethode
tga = Tangens des Winkels
tg 1 = RosA • 1.000/Va
tg 2 = (RosA - RosMin) • 1.000/(Va)
tg 3 = (RosA - RosP) • 1.000/(Va - Vp)
tgR1 = aus der Formel errechneter Normwert für tg 1
tgR2 = aus der Formel errechneter Normwert für tg 2
tgR3 = aus der Formel errechneter Normwert für tg 3
relG = relatives Gewicht = Gewicht/(Körpergröße in cm - 100)
x_1 = Alter im statistischen Test
x_2 = Körpergröße im statistischen Test

x_3 = relG im statistischen Test
Zo = Referenzwiderstand

Verwendete Formeln

1. Ros-Formeln nach Fischer und Matthys (7)

a) Für Männer

$$Ros/\frac{kPa}{l/s} = 0{,}0016 \cdot relG - 0{,}0022 \cdot G + 0{,}0007 \cdot A + 0{,}5 \pm SE\ 0{,}0092$$

oder umgeformt mit geänderter Dimension für den oberen Normwert:

$$Ros/\frac{mbar}{l/s} = 0{,}016 \cdot relG - 0{,}022\ G + 0{,}007 \cdot A + 5{,}92$$

b) Für Frauen

$$Ros/\frac{kPa}{l/s} = 0{,}0015 \cdot relG - 0{,}0012 \cdot G + 0{,}0004 \cdot A + 0{,}386 \pm SE\ 0{,}08$$

oder umgeformt mit geänderter Dimension für den oberen Normwert:

$$Ros/\frac{mbar}{l/s} = 0{,}015 \cdot relG - 0{,}012 \cdot G + 0{,}004 \cdot A + 4{,}66$$

2. Aus der Arbeit gewonnene Formeln

$$tgR1 = -0{,}04134 \cdot G + 0{,}00765 \cdot A + 0{,}00555\ relG + 7{,}59397$$

$$tgR2 = -0{,}286 \cdot G + 0{,}00637 \cdot A + 0{,}00158 \cdot relG + 5{,}54723$$

$$tgR3 = -0{,}01765 \cdot G + 0{,}00584 \cdot A + 0{,}0014 \cdot relG + 3{,}39918$$

ohne Berücksichtigung der geschlechtsspezifischen Werte.

Geschlechtsspezifisch für Männer

$$tgR1 = -0{,}02781 \cdot G + 0{,}00871 \cdot A + 0{,}00244 \cdot relG + 5{,}4388$$

$$tgR2 = -0{,}0213 \cdot G + 0{,}00789 \cdot A + 4{,}34531$$

$$tgR3 = 0{,}00571 \cdot A - 0{,}00827 \cdot G + 1{,}9716$$

Geschlechtsspezifisch für Frauen

$$tgR1 = -0{,}0312 \cdot G + 0{,}01597 \cdot relG + 0{,}01039 + 4{,}90448$$

$$tgR2 = -0{,}08247 \cdot G - 0{,}00242 \cdot A + 0{,}00198 \cdot relG + 14{,}62259$$

$$tgR3 = -0{,}16367 \cdot G - 0{,}0137 \cdot A - 0{,}00788 \cdot relG + 28{,}75431$$

DAS VOLUMEN-RESISTANCE-DIAGRAMM, GEWONNEN MITTELS DER OSZILLATORISCHEN MESSMETHODE

Einleitung

Um 1955 wurden sowohl die Bodyplethysmographie als auch die oszillatorische Methode zur Messung des Atemwiderstands bzw. des Atemwegswiderstands beschrieben. Die Body- oder Ganzkörperplethysmographie hat bis heute eine wesentlich raschere Entwicklung durchgemacht. Sie wird als die sicherste Methode zur Erkennung von obstruktiven Atemwegserkrankungen und zur Bestimmung des IGV anerkannt.

Die heutige Lungenfunktionstechnik erlaubt eine fast fehlerfreie Wiedergabe sämtlicher Lungenvolumina, von Atemwegswiderständen und Fluß-Volumen-Kurven. Auch Volumen-Resistance-Kurven können mit Hilfe von angeschlossenen Rechnern aufgezeichnet werden.

1956 wurde von DuBois et al. (5) erstmals die oszillatorische Methode zur Messung des gesamten Atemwiderstandes beschrieben. Obwohl sich seither zahlreiche Autoren (6, 9, 15, 17, 21, 25, 28) mit dieser Methode beschäftigt haben, ist sie heute nicht annähernd so weit entwickelt wie die Ganzkörperplethysmographie. Anfänglich wurde als Vergleichswiderstand oder Referenzwiderstand dem Patienten eine variable Lochblende zum Atmen vorgeschaltet. Der Oszillationsstrom verteilte sich dann sowohl auf den Patienten als auch auf die Blende. Aus der Größe der Blende wurde auf den Atemwiderstand des Patienten geschlossen. Landser et al. (19) haben verschiedene Oszillationsfrequenzen von 2 Hz bis 30 Hz zur Untersuchung der Frequenzabhängigkeit der Ros (Atemwiderstand, gemessen mit der Oszillationsmethode) verwendet.

Die Firma Siemens, Erlangen, entwickelte das Kleingerät Siregnost FD 5 zur einfachen Bestimmung des oszillatorischen Atemwiderstands Ros (Betriebsanleitung, 27, 29). Als Erweiterung wurde der Ausbausatz zur Phasenwinkelmessung entwickelt (2, 3, 22). Trotz eingehender Untersuchungen, zuletzt von W. Korte (18), konnte die Bedeutung des Phasenwinkels nur in soweit geklärt werden, daß dieser einen Hinweis auf eine mit dieser Methode nicht näher definierbare Lungenfunktionsstörung gibt. Bölcskei (2, 3, pers. Gespräche) glaubt in seinen Untersuchungen mit tiefer Inspiration eine Korrelation verschiedener pulmonaler Erkrankungen mit der Änderung des Phasenwinkels bei diesem Atemmanöver gefunden zu haben.

In Kombination des Gerätes Siregnost FD 5 mit dem Siregnost FD 10, einer elektronischen Spirometrieeinheit für die Lungenfunktionsprüfungen Spirometrie und Pneumotachygraphie (Betriebsanleitung) sowie einem X-Y-Schreiber, der auch zur Registrierung des Phasenwinkels benötigt wird, lassen sich Volumen-Resistance-Kurven (V/Ros) aufzeichnen. Es haben schon verschiedene Autoren auf diese Möglichkeit hingewiesen (13, 14, 22, 24), auf die Mitteilung von Auswertungsergebnissen wurde bislang jedoch verzichtet. Zu diesem Thema haben wir mit der vorliegenden Arbeit eine Pilotstudie durchgeführt.

Bei der Untersuchung mit den oben genannten Geräten fällt im Gegensatz zum Ganzkörperplethysmographen die für viele Patienten beengende Kammer fort. Allerdings können die FRC (Funktionelle Residualkapazität) und das RV (Residualvolumen) nicht bestimmt und damit die TK nicht errechnet werden, womit die Unterscheidung von restriktiven Erkrankungen und dem Lungenemphysem oder der Lungenblähung gegenüber anderen Erkrankungen erschwert oder gar unmöglich gemacht wird. Ein großer Vor-

teil dieser Geräte besteht jedoch in der Beweglichkeit, so daß bei Bedarf auch Patienten im Bett oder intubierte Patienten untersucht werden können. Ein weiterer Vorteil liegt in dem erheblich niedrigeren Preis dieser Gerätekombination gegenüber dem Bodyplethysmographen.

Allgemein wird heute zwischen der Ros und der RT unterschieden. Wenn wir im Weiteren von RT oder Raw sprechen, so ist der ganzkörperplethysmographisch gemessene Atemwegswiderstand (22) gemeint. Ros steht für den oszillatorisch gemessenen Atemwiderstand. Smidt und Petro (26, 24) geben die mit dem Ganzkörperplethysmographen gemessene RT um 0,15 KPa $\cdot$ l^{-1} $\cdot$ s = 1,5 mbar $\cdot$ l^{-1} $\cdot$ s niedriger an als die oszillatorisch gemessene Ros. Sie glauben, daß es sich bei der RT um den reinen Atemwegswiderstand handelt. Der bei der oszillatorischen Meßmethode verwendete Oszillationsstrom pflanzt sich aber in das Lungengewebe, die Thoraxwand, das Zwerchfell und sicher auch in die angrenzenden Bauchorgane fort. Deshalb wird nicht der Atemwegswiderstand RT bestimmt, sondern ein als Atemwiderstand definierter Wert Ros gemessen. Prestelle und Flügel (22) haben analog den Wechselstromwiderständen ein Lungenmodell entwickelt, das den Einfluß des umgebenden Gewebes auf die Ros berücksichtigt. Mit Hilfe dieses Modells ist der Meßwertunterschied möglicherweise ausreichend zu erklären.

Verschiedene Autoren, insbesonders aus dem Arbeitskreis um Ulmer haben auf den Zusammenhang zwischen dem aktuellen Lungenvolumen und dem Atemwegswiderstand hingewiesen (10, 11, 4, 32). Mit fortschreitender Expsiration steigt auch der gemessene Atemwegswiderstand an. Islam (11, 12) weist auf einen Zusammenhang zwischen dem Verschlußvolumen und dem steilen Widerstandsanstieg gegen Ende der Exspiration im Volumen-Resistance-Diagramm, gewonnen aus den ganzkörperplethysmographischen Werten hin. Er sieht

diesen steilen Anstieg in Zusammenhang mit dem Verschluß der kleinen Atemwege, was einen wichtigen Hinweis auf eine Obstruktion der kleinen Atemwege geben könnte.

Beil (1) hat bei 24 Patienten mit kleinknotiger Anthrakosilikose und 16 gesunden Vergleichspersonen Vitalkapazitäts-Resistance-Diagramme aufgezeichnet. Hierbei zeigte sich exspiratorisch mit abnehmendem Lungenvolumen im unteren Bereich der VK (Vitalkapazität = Atemzugvolumen + Inspiratorisches- + Exspiratorisches Reservevolumen) bei der Silikosegruppe im Mittel ein steilerer Verlauf als in der Kontrollgruppe.

Diese Kurven konnte er allerdings nur nach komplizierter Umrechnung der aus der normalen Lungenfunktionsanalyse gewonnenen Werte einschließlich CV-Bestimmung (Closing-Volume = noch in der Lunge befindliches Restvolumen bei Verschluß der kleinen Atemwege) mittels Heliumbolusmethode errechnen und anschließend aufzeichnen. An Geräten wurde der volumenkonstante Ganzkörperplethysmograph der Firma Jaeger, ein Hellige Mehrkanalschreiber und ein nicht näher genanntes Gerät zur Messung des CV verwendet. Für die Praxis ist dieses Verfahren zu aufwendig.

Islam (12) beschreibt dieses Verfahren ebenfalls als sehr kompliziert. Er hat ebenfalls den Ganzkörperplethysmographen der Firma Jaeger verwendet und daran einen Rechner der Firma Wang angeschlossen. Auch bei ihm besteht ein erheblicher Material- und Zeitaufwand für die Aufzeichnung von Volumen-Resistance-Diagrammen.

Nach Meinung dieser Autoren ist das Volumen-Resistance-Diagramm ein noch besserer Parameter für die Erkennung einer Obstruktion der kleinen Atemwege und damit besser zur Erkennung einer beginnenden chronischen Obstruktion geeignet als das CV.

Wir könnten also davon ausgehen, daß diese Methode zur Routinediagnostik ausreifen könnte, wenn es gelingt ähnlich aussagekräftige Kurven aufzuzeichnen.

Patientengut

In dem Lungenfunktionslabor, in dem die Untersuchungen durchgeführt wurden, werden die Lungenfunktionsanalysen mit der Spirometrieeinheit FD 42S der Firma Siemens routinemäßig und zur Differentialdiagnostik verwendet. Zur Auswertung werden die folgenden Werte abgelesen oder berechnet: Alter in Jahren, Körpergröße in cm, Gewicht in kg, relatives Gewicht, atmosphärischer Druck in mmHg sowie die Raumtemperatur zur Berechnung der Normwerte.

Aus den Kurven werden abgelesen oder berechnet: Atemfrequenz (Züge/Minute), Atemzugvolumen (AZV), Atemzeitquotient, Vitalkapazität (VK), der Normwert nach Amrein, bei Patienten über 60 Jahren wird der Normwert nach Baldwin berechnet, das inspiratorische Reservevolumen (RVI) und das exspiratorische Reservevolumen (RVE), die 1-Sekunden Kapazität (nach tiefer Inspiration in 1 Sekunde maximal ausatembares Volumen), dazu der Normwert nach Amrein, der maximale Atemstromwert mit dem Normwert nach Herzog, der Restriktionsfaktor ($RF = \frac{VKsoll + TKsoll}{VKist + TKist}$), der Emphysemfaktor ($EF = \frac{VKist + TKist}{VKsoll + TKsoll}$), das intrathorakale Gasvolumen (IGV = Residualvolumen + exspiratorisches Reservevolumen) mit dem Normwert nach Ulmer/Nolte, das Residualvolumen mit dem zugehörigen Normwert nach Amrein (RV = nach vollständiger tiefer Exspiration noch im Thorax verbleibende Luftmenge), die Totalkapazität (TK = VK + RV) und

der totale Strömungswiderstand (RT oder Raw). Bei Patienten mit obstruktiven Erkrankungen wird noch der inspiratorische und exspiratorische Strömungswiderstand errechnet sowie bei Patienten mit restriktiven Erkrankungen die statische und die Volumen-Compliance. Errechnet werden zusätzlich die VK%, die die 1sec-Kap% in % der VK, das IGV% in % der TK, ebenso wie die RV% und die TK%.

Aufgrund der oben angeführten Werte wurden die Patienten in Fünf Gruppen (1 - 3, 5 und 6) eingeteilt. Im Fragebogen ist noch eine Gruppe 4 angeführt. Für diese Gruppe waren Patienten mit einer reinen Obstruktion vorgesehen. Eine Obstruktion geht jedoch bekanntlich immer mit einer Lungenblähung einher, weshalb wir diese Gruppe gestrichen haben. Die Einteilung wurde nur aufgrund der erhaltenen Lungenfunktionswerte ohne Berücksichtigung klinischer Angaben durchgeführt.

Die Gruppe 1 gilt als Vergleichsgruppe ohne im Suchprogramm nachweisbarer pathologischer Veränderungen. Sie hat einen Umfang von 26 Probanden.

In Gruppe 2 fanden sich ebenfalls 26 Patienten. Bei ihnen besteht gemeinsam der Verdacht auf ein Lungenemphysem und/oder eine Lungenblähung ohne Erhöhung des Atemwegswiderstandes RT. Das Vorliegen eines Lungenemphysems oder einer Blähung wird dann angenommen, wenn die Summe von Tk und Vk 120 % des Sollwertes bei normal hoher oder erniedrigter VK ergibt. Dieser Verdacht wird auch ausgesprochen, wenn das IGV und/oder das RV absolut oder relativ signifikant erhöht waren bei normaler oder erniedrigter Vk.

In Gruppe 3 wurden Patienten aufgenommen, die eine Obstruktion mit Verdacht auf Lungenemphysem oder Verdacht auf Lungenblähung aufwiesen, also jene Patienten, bei denen zu den unter 2 genannten Kriterien noch eine Erhöhung der RT kam (Gruppenumfang: 21 Patienten).

Gruppe 5 umfaßt Patienten mit rein restriktiven Veränderungen, also eindeutig erniedrigter VK, RVI, RVE, RV, IGV und TK bei normalem Strömungswiderstand und im Normbereich liegender 1sec-Kap% bei deutlich pathologischem RF. (Gruppenumfang: 11 Patienten).

Der Gruppe 6 wurden die Patienten zugeteilt, bei denen sowohl die pathologischen Werte der Gruppe 3, als auch die der Gruppe 4 vorlagen. Also alle Patienten, bei denen eine kombinierte Ventilationsstörung gegeben war. (Gruppenumfang: 10 Patienten).

Die Angaben über Anzahl der Fälle, Geschlecht und die Mittelwerte des Alters ($\pm$ Standardabweichung), der Körpergröße ($\pm$ s) und des Gewichts ($\pm$ s) in den verschiedenen Gruppen sind in Tab. 1 zusammengefaßt.

Tabelle 1 :

Gruppe	Fallzahl	Geschl. M	Geschl. F	MW Alter ± s	MW Größe ± s	MW rel. Gew. ± s
1	26	18	8	46,1±16,5	169,2±9,6	102,5± 16,0
2	26	18	8	61,8±14,4	167,1±6,7	100,1± 17,1
3	21	15	6	63,3±12,1	167,7±7,5	102,6± 16,1
4	--	--	-	---------	---------	----------
5	11	6	5	45,1± 9,6	169,0±5,5	96,0± 12,1
6	10	7	3	49,1±11,8	165,9±17,6	109,1± 15,3

Fallzahl, Geschlechtsverteilung und Mittelwerte für Alter, Größe und relatives Gewicht (± Standardabweichung s) in den angegebenen Gruppen.

Tabelle 2 :

Gruppe	Alter Min	Alter Max	Größe Min	Größe Max	rel. Gew. Min	rel. Gew. Max
1	15	71	155	193	78	134
2	23	78	156	182	51	129
3	43	81	142	179	74	124
4	--	--	---	---	--	---
5	26	57	126	180	79	112
6	27	67	127	196	85	132

Maxima und Minima von Alter, Größe und rel. Gewicht in den angegebenen Gruppen

Insgesamt wurden 94 Fälle in die Auswertung aufgenommen. Weitere konnten wegen Fehlschreibungen nicht ausgewertet werden. Das untersuchte Patientengut setzte sich aus Patienten aller Abteilungen des Klinikums Nürnberg zusammen. Es handelte sich um Erstuntersuchungen zur Diagnostik, um kontrolluntersuchungen während der Therapie sowie um praeoperative Diagnostik. Hinzu kamen noch gutachterlich untersuchte Personen.

Die Untersuchungen wurden in der Zeit vom 01.02.1978 bis zum 01.02.1979 durchgeführt.

Physikalische Grundlagen und Methodik

Der niederfrequenten Atmung des Patienten von etwa 0,3 Hz wird mit dem von uns verwendeten Gerät ein höherfrequenter Oszillationsstrom von 12,5 Hz überlagert, der durch eine Membranpumpe mit 1,4 ml Hub erzeugt wird. Dieser Oszillationsstrom wird am Mundstück des Patienten eingespielt und teilt sich auf einen Referenzwiderstand, einen Plastikschlauch von 1 m Länge und 11 mm Durchmesser und auf die Atemwege und das umgebende Gewebe des Patienten auf. Die entstehenden Wechseldrucke werden vom Gerät erfaßt und ausgewertet. Der Schlauch hat einen hohen Widerstand für die "hochfrequente" Oszillationsströmung und einen niedrigen für die dazu relativ niedrige Atemfrequenz. Er stellt deshalb für die Atmung des Patienten keine Behinderung dar. Trotz der geringen Oszillationsströmung, die vom Patienten normalerweise nicht bemerkt wird, kann ein ausreichend großes Meßsignal gewonnen werden.

Bei den heute von der Firma Siemens ausgelieferten Geräten beträgt die Oszillationsfrequenz nur noch 10 Hz. Die später verwendeten Formeln wurden alle mit den neueren Geräten ermittelt. Wir konnten jedoch für eine Kontrollgruppe von 100 nach unserer Definition lungengesunden Probanden mit Hilfe des Vorzeichentests (s. Kap. Statistik) zeigen, daß die Formeln auch für Messungen mit unserem Gerät Verwendung finden können.

Am Patienten wird ein komplexer Widerstand gemessen, der von Prestele (22) zur Vereinfachung der Darstellung auch Impedanz, ähnlich dem Wechselstromwiderstand, genannt wurde. In diesen Widerstand geht als "Induktiver Widerstand" die Trägheit der bewegten Masse, als der Luft und des Gewebes, also des Lungengewebes, der Thoraxwand, des Zwerchfells und der angrenzenden Organe, die "kapazität" in Form der Dehnbarkeit des Lungengewebes und der Thoraxwand sowie der durch den Querschnitt der einzelnen Abschnitte des Tracheobronchialbaumes gegebene "Ohmsche" oder reale Widerstand mit ein.

Dieser zu messende Widerstand kann durch verschiedene Faktoren gestört werden. Am einfachsten zu erkennen ist der Gottisschluß, da hier der reale Widerstand unendlich wird und es zu einem unmittelbaren Anstieg der Ros kommt. Tragen die Patienten eine Nasenklemme, so kann es nicht zur Nasenatmung kommen und der Oszillationsstrom kann hier nicht über einen eventuell niedrigeren Widerstand entweichen. Eine Wangenklemme soll Werteverfälschungen durch Wangenbewegungen oder Entweichen des Oszillationsstromes verhindern.

Zur Atemvolumenmessung wird der Lamellenspirozeptor des Gerätes FD 10 von Siemens an das offene Ende des Referenzwiderstandes angeschlossen. Die von beiden Geräten

gemessenen Werte werden auf einen X-Y-Schreiber von Hewlett-Packard übertragen und aufgezeichnet (s. Abb. 1).

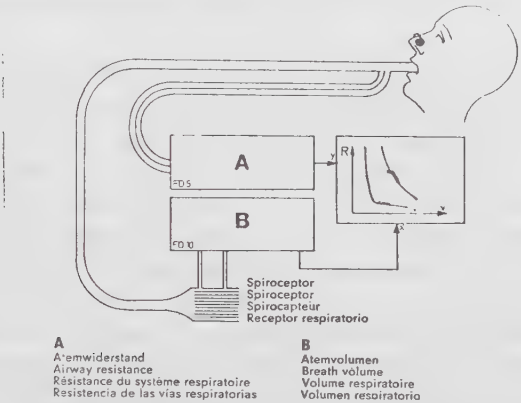


Abb. 1: Meßplatz für Ros und V aus Siemens Betriebsanleitung Siregnost FD 5, Bestell-Nr. ME 201/1572.444

Die Eichung der beiden Geräte erfolgte entsprechend den Betriebsanleitungen der Firma Siemens. Die Volumeneichung des FD 10 wurde mittels der geeichten Pumpe des im Lungenfunktionslabor verwendeten FD 42 S durchgeführt. Am FD 10 kann mittels Schalter eine Volumendehnung auf das Doppelte oder Vierfache eingestellt werden. Dies ist bei kleinen AZV und VK mitunter zur späteren Auswertung der Kurven nötig. Zur Eichung des FD 5 wurde ein Gummistopfen an Stelle des Mundstücks aufgesteckt. Dies entspricht dann einem unendlichen Widerstand. Diese Eichungen wurden mehrmals täglich vorgenommen. Am FD 5 kann die sogenannte Mittelwertschreibung oder die Momentanwertschreibung gewählt werden. Wir haben die Messungen mit der Momentanwertschreibung ausgeführt, da bei der Mittelwertschreibung die Ros dem Volumen nacheilen würde.

Die Messungen wurden alle im Sitzen durchgeführt. Zunächst mußten die Patienten mehrere Atemzüge in Ruheatmung durchführen, wobei der Schreiber zwar in Funktion aber nicht aufgesetzt war, so daß eine eventuelle Volumendrift am Gerät noch ausgeglichen werden konnte. Dies war allerdings praktisch nie erforderlich. Mit aufgesetztem Schreiber wurden dann zwei bis drei Atemzüge aufgezeichnet. Die Patienten wurden dann aufgefordert aus der Ruheatmung heraus eine langsame tiefe Inspiration und anschließend eine langsame und vollständige Expsiration durchzuführen, was einem Atemmanöver über den Vitalkapazitätsbereich entsprach. Auch diese Atemmanöver wurden zwei bis drei Mal ausgeführt und aufgezeichnet (Abb. 2).

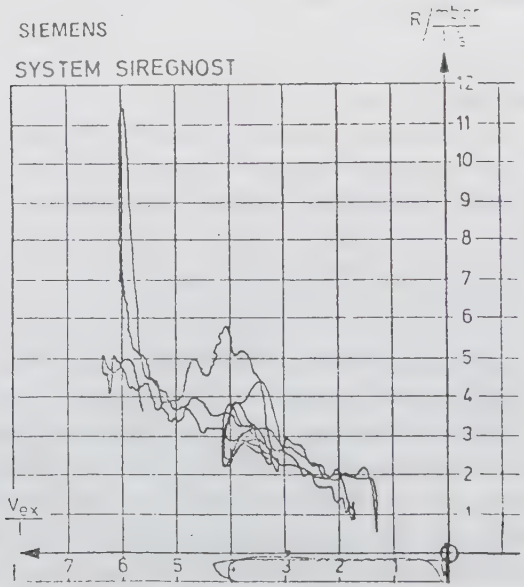


Abb. 2: Ruheatmung und tiefe In- und Exspration bei einer Normalperson.

Kurvencharakteristik

Gruppe 1:

Probanden ohne Nachweis einer pulmonalen Erkrankung (Abb. 2). Die Ruheatmungskurve verläuft als liegende Acht oder nach oben konvexbogig parallel zur Volumenachse ohne wesentliche Unterschiede von Ros in Inspiration und Exspiration zu zeigen.

In den VK-Kurven liegt die Ros bei tiefer Inspiration noch deutlich unter den Werten der Ruheatmungskurven. Mit Beginn der Exspiration steigt zunächst die Ros auf einer kurzen Strecke steil an, ohne daß größere Volumenmengen ausgeatmet werden. Daran anschließend kommt es zu einer Phase mit Exspiration eines großen Volumens, wobei Ros nur geringe steigende Tendenz zeigt. Diese Phase haben wir die Plateauphase genannt. Gegen Ende der Exspiration kommt es zu einem plötzlichen steilen Anstieg der Ros bis an das Ende des Meßbereiches, also 12 R $\triangleq \frac{\text{mbar}}{\text{l/s}}$ oder noch darüber hinaus. In dieser Phase wird nur noch wenig Volumen ausgeatmet, ähnlich der Anfangsphase. Bei Beginn der Inspiration liegen die Ros-Werte zunächst knapp unterhalb der Werte der Exspiration, gleichen sich diesen im weiteren Verlauf aber weitgehend an. Bei einigen Patienten kommt es zu einem kontinuierlichen Abfall der Ros bis zur tiefen Inspiration, ohne daß gegen Ende nochmals ein steiler Abfall, analog dem steilen Anstieg zu Beginn der Exspiration, wie in Abb. 2 zu sehen ist.

Gruppe 2:

Patienten mit Lungenemphysem oder Verdacht auf Lungenblähung. Für diese Gruppe gilt die Charakteristik wie unter 1 beschrieben, allerdings zeigt sich im Bereich der Plateauphase insgesamt ein stärkerer Anstieg der

Ros als in der Gruppe 1.

Gruppe 3:

Patienten mit Obstruktion und Lungenblähung oder Lungenemphysem (Abb. 3). Die Ruheatmungskurve geht mit zunehmender Obstruktion von einer liegenden Acht in eine stehende über und nähert sich der Senkrechten auf die Volumenachse an. Es wird eine Doppelschleife gezeichnet, wobei meist die untere Schleife in ihrer Größe betont ist. Diese Kurve weist teilweise eine Keulenform auf. Die VK-Kurve hat einen ähnlichen Verlauf wie unter 1. Die Ros-Werte in Inspiration liegen jedoch deutlich höher und es kommt auch in der Plateauphase zu einem deutlicheren Anstieg der Ros, ehe der Knick zum endgültigen steilen Anstieg erfolgt.

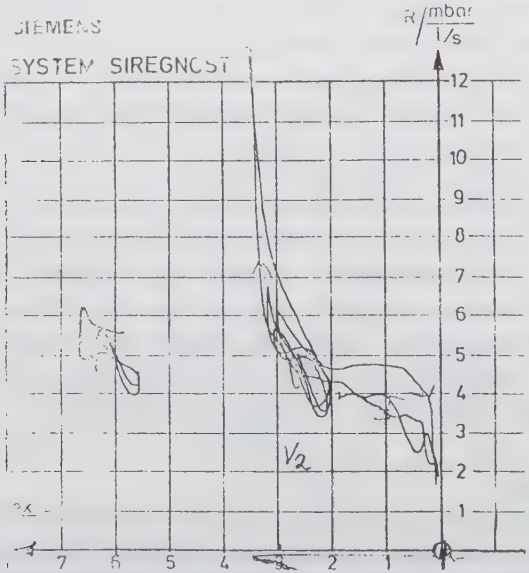


Abb. 3: Patienten mit obstruktiver Lungenerkrankung, gedehntes Volumen (1 Skalenteil ≙ 1/2 l)

Gruppe 5:

Patienten mit reiner Restriktion (Abb. 4). Hier finden sich nur Kurvenformen, die im Wesentlichen mit denen der Gruppe 1 übereinstimmen, es fallen jedoch die insgesamt wesentlich kleineren Volumina bei nur geringgradig erhöhten oder normalen Ros-Werten auf.

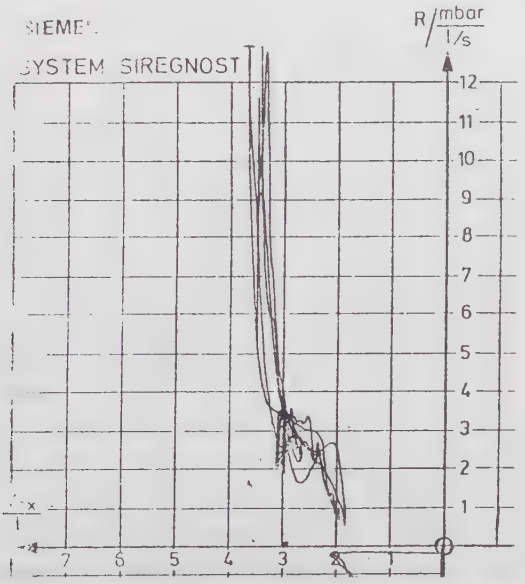


Abb. 4: Patienten mit restriktiver Lungenerkrankung normale Volumenschreibung

Gruppe 6:

Patienten mit kombinierter Ventilationsstörung (Abb. 5). Hier ist die Steilstellung der Ruheatmungskurven stärker betont als unter 3. Hinzu kommt die Volumenverkleinerung

der Gruppe 5, so daß insgesamt steilere Kurven resultieren als in den vorgenannten Gruppen.

In Abb. 6 ist ein Extremfall der letzten Gruppe gezeigt. Es handelt sich um die Patientin W. D., 38 Jahre. Sie hatte eine ausgeprägte Kyphoskoliose mit einer Körpergröße von 127 cm und einem rel.G. von 114. Die dargestellten Kurven sind mit normaler, doppelter und einfacher Dehnung geschrieben.

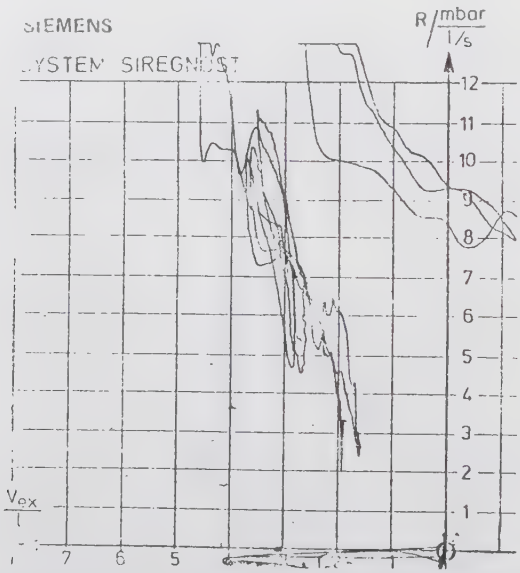


Abb. 5: Patienten mit kombinierter Ventilationsstörung, normale Volumenschreibung.

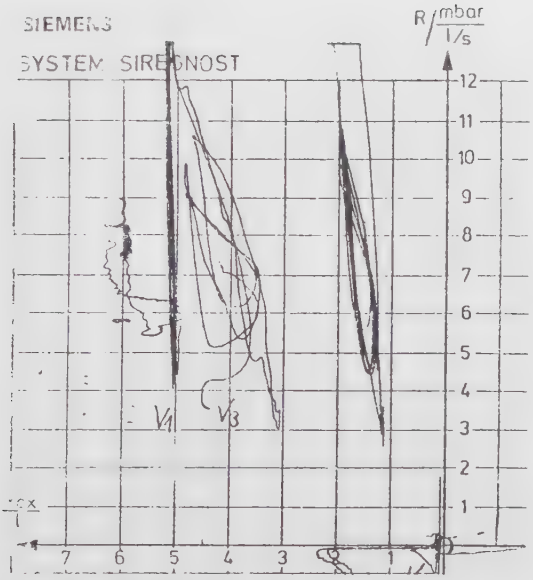


Abb. 6: Patienten mit schwerer Kyphoskoliose, normale Volumenschreibung, doppelt gedehntes und einfach gedehntes Volumen.

Vielen Patienten gelingt das Atemmanöver langsame tiefe Inspiration mit anschließender langsamer Exspiration nur schlecht. Zu Beginn der Exspiration kommt es zu einem plötzlichen Anstieg der Ros bis Unendlich mit einem anschließenden Abfall bis zu den Werten der Ruheatmungskurven. Dieses Verhalten kann nicht durch das Atemmanöver selbst bedingt sein. Es muß sich vielmehr um Artefakte durch Glottisverschluß oder Schluckakte handeln (Abb. 7).

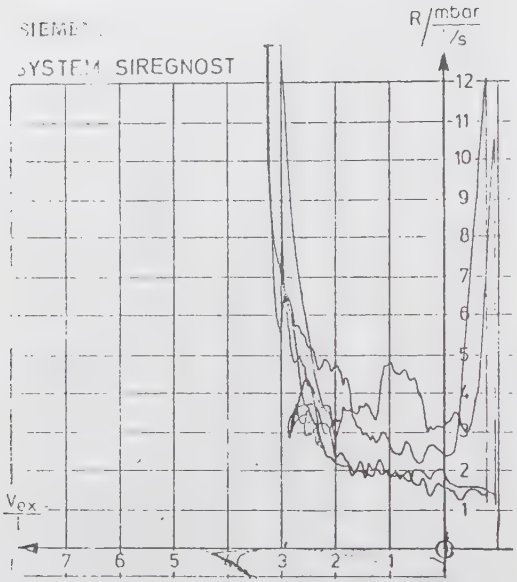


Abb. 7: Darstellung von Artefakten bei Exspiration

Auswertungspunkte

Um die Auswertung durchführen zu können haben wir auf den Kurven verschiedene charakteristische, bei fast allen nachweisbare Merkmale erfaßt (Abb. 8). Auf der Volumenachse wurden AZV, Vk, RVI, RVE sowie das ausgeatmete Volumen bis zum Beginn des Plateaus Vp, und das Volumen bis zum endgültigen steilen Anstieg, Va, abgelesen.

Auf der Ros-Achse wurden die folgenden Werte abgelesen: RosMinimum bei tiefer Inspiration (RosMin), Ros am Beginn des Plateuas (RosP), Ros am Beginn des steilen Anstiegs (RosA), Ros aus der Ruheatmungskurve in Inspirationsstellung (RosRI) und Ros aus der Ruheatmungskurve

den Maximalwert (RosRM). Den insgesamt höchsten Widerstand haben wir nicht mit aufgenommen, da er bei allen Patienten mit guter Mitarbeit den Wert 10 $\frac{mbar}{l/s}$ oder mehr erreichte und damit in einem Bereich lag, in dem das Gerät FD 5 keine korrekten Meßwerte mehr liefert.

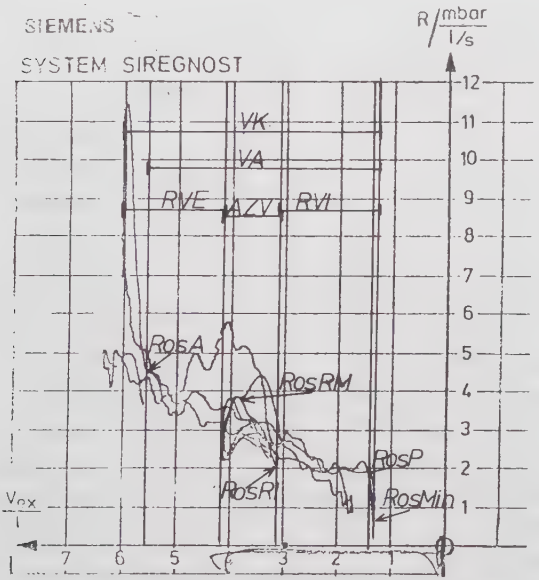


Abb. 8: Auswertungspunkte mit Ros/V-Diagramm

Auswertung

Aus dem Erhebungsbogen sind die berücksichtigten Variablen ersichtlich (s. nächste Seite). In der ersten Auswertungsstufe wurden die Werte des ersten Bogens ohne Berücksichtigung von Alter, Größe, relativem Gewicht und Diagnose sowie dem Sollwert des Residualvolumens

ERHEBUNGSBOGEN: Vergleich zwischen herkömmlicher Lungenfunktion und oszillatorischem Volumen-Resistance-Diagramm
02.02.1978 - 13.02.1979

Karten Nr.	[1]	1
Laufende Nr.	[ ][ ][ ]	2 - 4
Geschlecht 1 = männlich 2 = weiblich	[ ]	5
Alter bei der Untersuchung	[ ][ ]	6 - 7
Größe cm	[ ][ ][ ]	8 - 10
rel. Gewicht in %	[ ][ ][ ]	11 - 13

Diagnose: 1 keine Erkrankung, 2 Lungenemphysem
3 Emphysem und Obstruktion
4 Obstruktion, 5 Restriktion
6 komb. Ventilat.- u. Verteilungsstörung [ ] 14

Herkömmliche Lungenfunktion:

Atemzugvolumen	[ ][ ][ ][ ]	15 - 18
Vitalkapazität soll	[ ][ ][ ][ ]	19 - 22
Vitalkapazität ist	[ ][ ][ ][ ]	23 - 26
Vitalkapazität %	[ ][ ][ ]	27 - 29
Reservevolumen inspiratorisch	[ ][ ][ ][ ]	30 - 33
Reservevolumen exspiratorisch	[ ][ ][ ][ ]	34 - 37
1-sec-Kapazität ist	[ ][ ][ ][ ]	38 - 41
1-sec-Kapazität in %	[ ][ ]	42 - 43
Intrathorakales Volumen soll	[ ][ ][ ][ ]	44 - 47
Intrathorakales Volumen ist	[ ][ ][ ][ ]	48 - 51
Intrathorakales Volumen in %	[ ][ ]	52 - 53
Residualvolumen soll	[ ][ ][ ][ ]	54 - 57
Residualvolumen ist	[ ][ ][ ][ ]	58 - 61
Residualvolumen in %	[ ][ ]	62 - 63
Totalkapazität soll	[ ][ ][ ][ ]	64 - 67
Totalkapazität ist	[ ][ ][ ][ ]	68 - 71
Totalkapazität in %	[ ][ ][ ]	72 - 74
Strömungswiderstand RT	[ ][ ]	75 - 76
Restriktionsfaktor	[ ][ ]	77 - 78
Emphysemfaktor	[ ][ ]	79 - 80

Erhebungsbogen: Vergleich zwischen herkömmlicher Lungenfunktion und oszillatorischem Volumen-Resistance-Diagramm

Karten Nr.	2	1
Laufende Nr.		2 - 4

Volumen-Resistance-Diagramm mit Siemens Siregnost FD 5 und FD 10

Atemzugvolumen		5 - 8
Vitalkapazität		9 - 12
Reservevolumen inspiratorisch		13 - 16
Reservevolumen exspiratorisch		17 - 20
Volumen bis zum Plateaubeginn		21 - 23
Volumen bis zum steilen Anstieg		24 - 27

Ros Minimum	,	28 - 29
Ros am Plateaubeginn	,	30 - 31
Ros am steilen Anstieg	,	32 - 34
Ros Ruheatmung in Inspirationsstellung	,	35 - 36
Ros Ruheatmung Maximum	,	37 - 39
Ros aus Phasen-Winkel-Diagramm	,	40 - 41

zur Trennung der Gruppen nach der bodyplethysmographischen Lungenfunktionsmethode mit Hilfe der linearen Diskriminanzanalyse (s. Kap. Statistik) verwendet. Analog dazu wurden die oben beschriebenen Variablen zur Trennung nach der oszillatorischen Methode verwendet.

Ab der zweiten Auswertungsstufe haben wir die mit der bodyplethysmographischen Meßmethode gewonnenen Werte nicht mehr weiter berücksichtigt. Zur Auswertung haben wir vom Bogen I die Werte für Alter, Größe und rel. Gewicht mit übernommen. Hinzu kamen noch drei aus den aus dem V/Ros-Diagramm vorhandenen Werte errechnete tg-Werte. Im rechtwinkligen Dreieck ist der Tangens des Winkels definiert durch $tg\gamma$ = Gegenkathete zu Ankathete (Abb. 9).

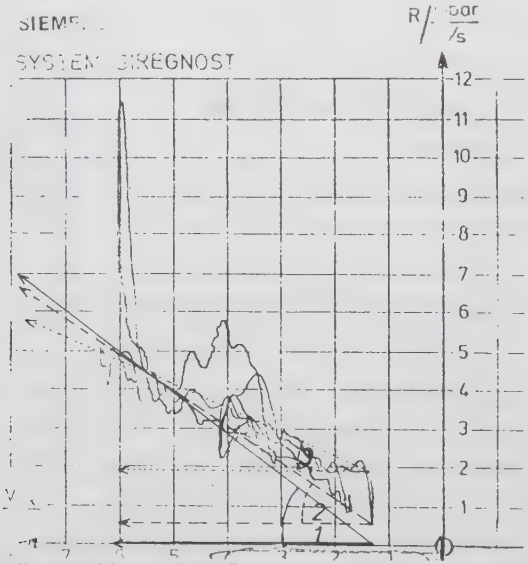


Abb. 9: Darstellung der Tangenswerte an einem Kurvenbeispiel (s. Text).

Der tgγ entspricht:

$$(Ros : V) \cdot 1.000 = tg\gamma$$

Der Faktor 1.000 muß mit eingehen, da V in ml gemessen wird und somit Werte über 1.000 erreicht, Ros jedoch nur Werte bis maximal 10 $\frac{mbar}{l/s}$.

Aus:

$$(tg\gamma = (Ros : V) \cdot 1.000$$

ist der tatsächliche Winkel γ errechenbar, was aber keinen Vorteil bringt, da der Winkel wegen der Volumenstreckung auf der Volumenachse nicht direkt gemessen werden kann. Die Relationen von Ros und V stimmen in diesem Fall nicht überein, so daß auf jeden Fall der Umweg über den tgγ gegangen werden muß um γ in Grad zu erhalten.

Im Diagramm stehen verschiedene Dreiecke für die Berechnung des tg zur Verfügung (Abb. 9). Auf der Ros-Achse könnten die folgenden Werte für die Berechnung herangezogen werden:

a) Für den oberen Wert

1. Der maximale Wert von Ros. Dieser Wert erscheint nur wenig sinnvoll, da er bei allen Patienten mit guter Mitarbeit erreicht wird und damit konstant ist (s. S. 13).

2. Es bleibt der bei allen Patienten bestimmbare Wert RosA, der Wert am steilen Anstieg.

b) Für den unteren Wert können auf der Ros-Achse 3 Werte herangezogen werden:

1. Der "absolute" Nullwert, der von keinem Patienten erreicht wird,

2. der niedrigste von jedem einzelnen erreichte Wert (RosMin),

3. der Wert RosP, also Ros am Beginn des Plateau.

Es können somit drei verschiedene Ros-Werte in die oben genannte Formel eingesetzt werden:

1. RosA bei Verwendung des "absoluten" Nullwertes
2. RosA - RosMin bei Verwendung von RosMin und
3. RosA - RosP bei Verwendung von RosP.

Für das Volumen gilt analog:

1. VA, also das ausgeatmete Volumen bis zum steilen Anstieg bei Verwendung von RosA oder RosA - RosMin,
2. VA - VP bei Verwendung von RosP als niedrigstem Punkt.

Hieraus ergeben sich drei verschiedene Formeln:

$tg\gamma$ 1 = RosA : VA • 1.000
$tg\gamma$ 2 = (RosA - RosMin) : VA • 1.000
$tg\gamma$ 3 = (RosA - RosP) : (VA - VP) • 1.000

In der dritten Auswertungsstufe haben wir, wie im kapitel Statistik beschrieben, einen Vergleich zwischen zwei verschiedenen Einteilungen, nämlich zwischen der Einteilung nach den Werten aus der herkömmlichen Lungenfunktionsmethode und der Einteilung nach dem optischen Bild der Kurven, durchgeführt.

In Stufe 4 unserer Auswertung führten wir zwei neue Variablen ein, ließen die bisher verwendeten dafür unberücksichtigt. Die erste setzte sich zusammen aus dem Mittelwert von RosRI und RosRM (Ros bei Ruheatmung in Inspirationsstellung, Ros bei Ruheatmung als Maximalwert) und einem von Fischer und Matthys (7) gefundenen Normwert:

Die Formel für Männer lautet:

$$Ros/\frac{kPa}{1/s} = 0{,}0016 \cdot relG - 0{,}0022 \cdot G + 0{,}0007 \cdot A + 0{,}5 \pm SE\ 0{,}0092$$

oder umgeformt unter Berechnung des oberen Normwertes:

$$Ros/\frac{mbar}{l/s} = 0{,}016 \cdot relG - 0{,}022 \cdot G + 0{,}007 \cdot A + 5{,}92$$

Die Formel für Frauen lautet:

$$Ros/\frac{kPa}{l/s} = 0{,}0015 \cdot relG - 0{,}0012 \cdot G + 0{,}0004 \cdot A + 0{,}386 \pm SE\ 0{,}08$$

oder umgeformt unter Berechnung des oberen Normwertes:

$$Ros/\frac{mbar}{l/s} = 0{,}015 \cdot relG - 0{,}012 \cdot G + 0{,}004 \cdot A + 4{,}66.$$

Den Mittelwert aus RosRM und RosRI nennen wir RosMit, den aus der Formel berechneten Wert RosR. Damit ergibt sich für die erste Variable:

RosD = RosMit - RosR.

Als zweite Variable haben wir die VK% verwendet. Diese haben wir errechnet aus VKsoll und VKos, also der aus dem V/Ros-Diagramm entnommenen VK.

In Stufe 5 errechneten wir analog der Regressionsformel von Fischer und Matthys eine eigene Regressionsformel für RosMit und den tgγ 1 mit Hilfe der Patientenwerte der ersten Gruppe (s. Kapitel Statistik). In die neue Analyse fügten wir zu den unter Stufe 4 genannten Variablen eine weitere hinzu. Wir errechneten für jeden Patienten den "Normwert" für tgγ 1 aus unserer Regressionsformel (tgR) und zogen diesen Wert von dem aus der Kurve berechneten ab.

Die neue Variable lautet dann:

dtg1 = tgγ 1 - tgR

Zur Auswertung kamen in dieser Stufe also drei Variable: RosD, VK% und dtg1. Zum Vergleich führten wir eine Diskriminanzanalyse mit RosMit, VKos und tg 1 durch.

In Stufe 6 prüften wir noch, ob sich gruppenspezifische Unterschiede der RosA zwischen den einzelnen Gruppen zeigten.

Ergebnisse:

Zunächst führten wir lineare Diskriminanzanalysen (s. Kapitel Statistik) mit den Variablen, die mit Hilfe der Spirometrie, Pneumotachographie und Bodyplethysmographie gewonnen wurden durch. Hierbei zeigte sich eine scharfe Trennung der Gruppe 1 gegenüber den Gruppen 3 - 5 und 6. Lediglich bei der Trennung mit der Gruppe 2 kam es noch zur Überschneidung der Diskriminanzfunktionswerte bei 2 Fällen. Eine Diskriminanzanalyse zwischen den einzelnen Krankheitsgruppen haben wir nicht durchgeführt.

Der Ausdruck aus dem Computer bringt einmal die individuellen Diskriminanzfunktionswerte der zu trennenden Gruppen tabellarisch der Größe nach geordnet, wobei er die Gruppen einander gegenüber stellt und die jeweilige laufende Nummer des Patienten mit angibt. Außerdem werden die erhaltenen Werte in 10 Klassen eingeteilt und die Patienten der beiden Gruppen einander in graphischer Darstellung gegenüber gestellt. So kann die tabellarische Trennung zwar scharf sein, in der Graphik kann es aber noch zu Überschneidungen aufgrund der Klasseneinteilung kommen (Abb. 10 - 19).

Anschließend wurden Diskriminanzanalysen mit den Werten der Oszillationsmethode erstellt. Es zeigt sich, daß eine Trennung der Gruppen 1 und 2 auf diese Weise

nicht möglich war. Wir wollen die Ergebnisse der Auswertungsstufen 1 mit 4 nicht mit Zahlen belegen, dies soll in der Auswertungsstufe 5 geschehen, da hier die besten für die Praxis verwertbaren Ergebnisse erzielt wurden.

Die Trennung der Gruppen 1 und 3 erfolgte recht gut, wobei sich Überschneidungen ergaben. Diese waren allerdings schon aufgrund des Kurvenverlaufs zu erwarten. Die beste Trennung erbrachte die Variable RosRM.

Die Gruppen 1 und 5 wurden am besten durch die VKos getrennt, wobei sehr viele Überschneidungen blieben. Nach Einbeziehung aller Variablen blieb es noch bei Überschneidungen in 9 Fällen. Diese konnten keiner der beiden Gruppen eindeutig zugeordnet werden.

Die Gruppen 1 und 6 ließen sich wieder durch die RosRM am besten trennen, nach Einbeziehung aller Variablen bestanden noch Überschneidungen. Ein Patient aus Gruppe 6 führte im Wesentlichen zu diesen Überschneidungen (s. Diskussion).

Wie oben beschrieben, führten wir <u>in Stufe 2</u> der Auswertung neue Variablen ein. Mit diesen neuen Variablen (Alter, Größe, re. Gewicht, tgγ 1, tgγ 2 und tgγ 3) führten wir erneut Diskriminanzanalysen der Gruppe 1 gegen die Gruppen 2, 3, 5 und 6 durch. Die Trennungen erfolgten jetzt wesentlich besser als ohne diese neu hinzugekommenen Variablen. Wesentlich an dieser Verbesserung beteiligt waren allerdings Alter, Größe und rel. Gewicht.

<u>In Stufe 3</u> der Auswertung haben wir zunächst eine neue Gruppeneinteilung aufgrund des optischen Bildes der einzelnen Kurven durchgeführt.

Daran anschließend haben wir die beiden Einteilungen mit Hilfe des Programms Po56 (lineare Diskriminanzanalyse für mehrere Gruppen, s. Kapitel Statistik) verglichen. Es zeigte sich, daß wir in beiden Einteilungen gleich viele Patienten mit der Oszillationsmethode in falsche Gruppen eingeteilt hatten. Die Werte von der herkömmlichen Lungenfunktion sind hier nicht mit eingegangen. Aufgrund der erhaltenen Klassifikationsmatrix läßt sich eine Aussage über die Trennbarkeit der Gruppen machen. Es hat sich gezeigt, daß eine Trennung aller Gruppen untereinander mit den bisher verwendeten Variablen nur unscharf möglich sein würde.

Wie oben beschrieben, haben wir deshalb in Stufe 4 der Auswertung zwei neue Variablen eingeführt. Für RosR haben wir den Normwert mit dem oberen Grenzwert gleichgesetzt. Unter dieser Voraussetzung mußten sich für RosD in der 1. Gruppe nur negative Werte ergeben, was auch der Fall war. Die Werte für VK% liegen zwischen 69,7 und 130,3.

In der Gruppe 2 liegen die RosD-Werte überwiegend im negativen Bereich, 7 Patienten wiesen jedoch eine positive Differenz auf, was einer erhöhten Ros und damit einem als sicher pathologisch anzusehenden Wert entspricht. Die Werte für RosD schwankten zwischen - 2,1 und + 3,29. Die VK%-Werte hatten einen Streubereich von 59,5 % bis 130,6 %.

In Gruppe 3 finden sich 3 Patienten mit negativen, also normal anzusehenden Werten für RosD. Es handelte sich um jene Patienten, die schon bei den Voruntersuchungen zu Überschneidungen geführt hatten. Der Höchstwert für RosD beträgt 4,61. Die VK%-Werte schwanken von 38,2 bis 120,2, wobei allerdings nur ein Patient einen Wert über 100 % hatte, die übrigen

lagen alle unter 90 %.

Erwartungsgemäß liegt in Gruppe 5 die überwiegende Zahl der RosD-Werte im negativen Bereich, nur 2 Patienten erreichten positive Werte bis zu 1,9. Die VK%-Werte weisen einen Streubereich von 29,7 % bis 67 % auf, liegen aber mit ihrem Mittelwert deutlich unter denen der bisherigen Gruppen.

In der letzten Gruppe ist der Differenzwert nur bei einem Patienten negativ bei einem Wertebereich von - 0,8 bis + 5,1. Der niedrigste Wert der Vk% ist 21,9 %, der höchste 70,9 %.

Da in den einzelnen Gruppen deutliche Unterschiede der Werte vorhanden waren, führten wir eine erneute Diskriminanzanalyse durch. Die Gruppen 1 und 2 ließen sich, wie bisher, kaum trennen. Es blieb bei ganz erheblichen Überschneidungen.

Eine gute Trennung ergab sich mit der Variablen RosD bei den Gruppen 1 gegen 3. Zu Überschneidungen kam es bei den 3 negativen Differenzwerte aufweisenden Patienten. Bei Hinzunahme der VK% wurde die Trennung besser, es blieb aber bei den Überschneidungen.

Die Trennung der Gruppen 1 und 5 erfolgte mit diesen beiden Variablen scharf. Es kam nicht mehr zu Überschneidungen. Die VK% war der bessere Trennwert.

Die Gruppen 1 und 6 wurden ebenfalls durch die VK% besser getrennt als durch die RosD. Diese verbesserte die Trennung aber noch, so daß nur noch 1 Patient aus Gruppe 1 und 2 Patienten aus Gruppe 6 in der Überschneidungszone lagen.

In dieser Stufe der Auswertung haben wir erstmals die Trennung der einzelnen Krankheitsgruppen gegeneinander durchgeführt. Auf die einzelnen Trennungen wird in der nächsten Stufe noch näher eingegangen.

In der Stufe 5 unserer Auswertung kam zu den Variablen RosD und VK% noch als weitere Variable der dtg1 hinzu. Wie oben bereits ausgeführt, verglichen wir diese Werte in ihrer Aussagekraft mit den Werten RosMit, VK und tgγ 1. Die im Folgenden verwendeten Ausdrücke (Mahal. Abst.), F-Wert und F-Test sind im Kapitel Statistik näher erläutert.

Die Reihenfolge der Variablen bezüglich des größten Beitrags zur Trennung der Gruppen 1 und 2 lautete:

dtg1, VK% und RosD.

Bei Verwendung aller 3 Variablen war der Mahal.Abst. 1,143. Der F-Prüfwert war $F_{(3,47)} = 4{,}65$ bei einem Vergleichswert von $F_{(3,47;\ 0{,}99)} = 4{,}22$. Somit kann der Unterschied mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % als gruppenspezifisch gelten (Abb. 10).

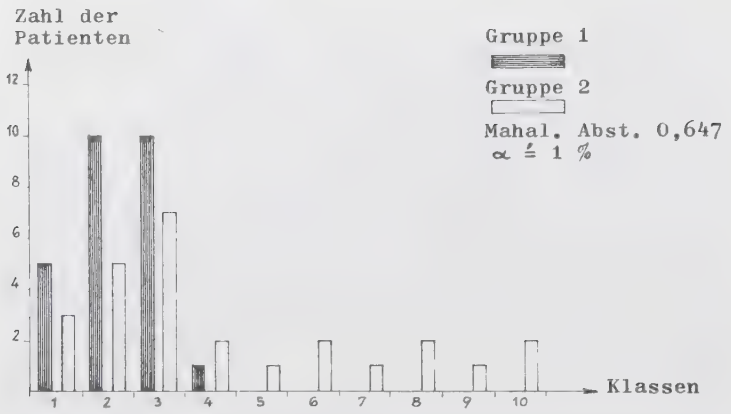


Abb. 10: Verteilung der Diskriminanzfunktionswerte zur Trennung der Gruppen 1 und 2, Variable dtg1

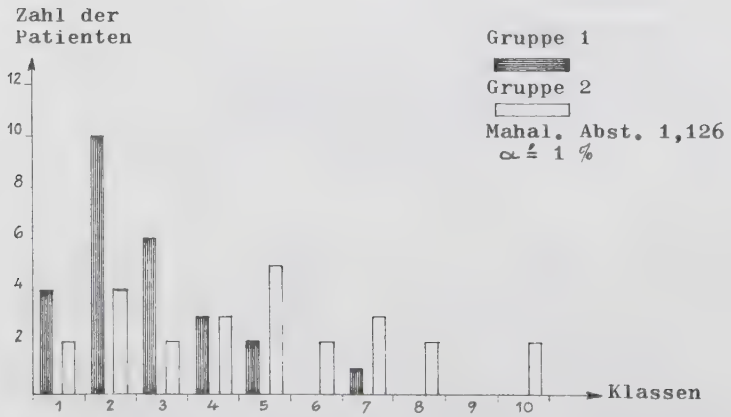


Abb. 11: Verteilung der Diskriminanzfunktionswerte zur Trennung der Gruppen 1 und 2, Variablenkombination dtg1, VK%

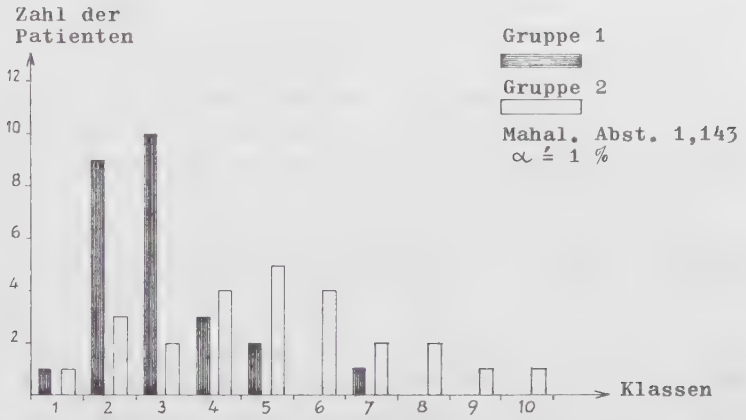


Abb. 12: Verteilung der Diskriminanzfunktionswerte zur Trennung der Gruppen 1 und 2 mit der Variablenkombination dtg1, VK% und RosD

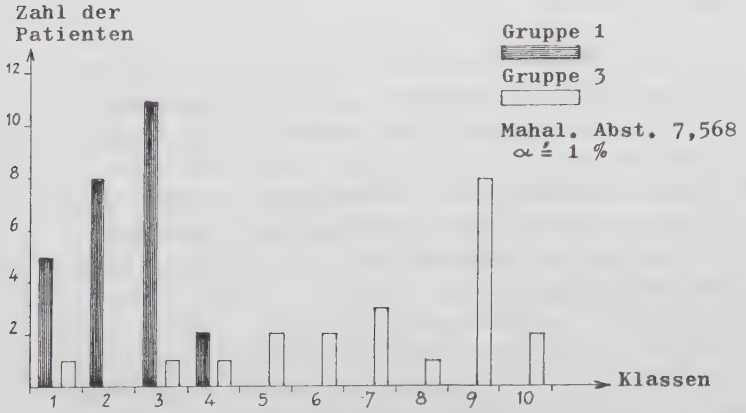


Abb. 13: Verteilung der Diskriminanzfunktionswerte zur Trennung der Gruppen 1 und 3 mit der Variablenkombination RosD und VK%

Die beste Trennung dieser beiden Gruppen mit einer Variablen erbrachte der dtg1 (Abb. 11).

Die Diskriminanzanalyse mit den einfachen Werten erbrachte einen F-Wert von $F_{(3,47)} = 3,5$ und ist bei einem Wert $F_{(3,47;\ 0,95)} = 2,81$ nur im 95 % Vertrauensbereich gelegen.

Für die Trennung von 1 und 3 ergab sich die Reihenfolge bezüglich des größten Beitrags zur Trennung:

RosD, VK% und dtg1

wobei die VK% eine Verbesserung der Trennung um einen Patienten erbrachte. Durch die Einbeziehung des dtg1 konnte sie nicht mehr wesentlich verbessert werden (Abb. 13, 14). Bei einem Mahal-Abst. von 7,56 und $F_{(2,43)} = 28,1$ und einem Prüfwert $F_{(2,47;\ 0,99)} = 4,27$ ist die Nullhypothese abzulehnen. An den Überschneidungen beteiligt blieben die Fälle 3, 12 und 20 aus der Gruppe 3.

Die Trennung mit den einfachen Werten RosMit, VK und tg 1 wies bei diesen beiden Gruppen keinen Nachteil auf, zumindest, was das Signifikanzniveau betrifft. Der Prüfwert war $F_{(3,43)} = 29,6$. Allerdings wurde durch die Verwendung der Differenzwerte eine bessere Abtrennung der drei "Fehlwerte" aus der Gruppe 3 erreicht und die Blockbildung der Gruppen in der graphischen Darstellung verbessert.

Die Gruppe 1 war in der Graphik mit den Kombinationswerten nur in 4 Untergruppen, bei den einfachen Werten dagegen in 5 Untergruppen vertreten. Die Gruppe 3 wurde zwar weiter auseinander gezogen, allerdings fanden sich bei Verwendung der einfachen Werte in den Klassen 9 und 10 zusammen nur 7 Patienten, bei den Kombinationswerten waren in diesen beiden Klassen nur 10 Patienten vertreten.

Für die Trennung der Gruppen 1 und 5 (Abb. 15, 16) erbrachte die dtg1 keine besseren Werte, im Gegenteil kam es zu erneuten Überschneidungen, so daß die Fälle 1 und 6 der Gruppe 5 sich mit den Fällen 5 und 15 der Gruppe 1 überschnitten. Der Mahal.Abst. betrug 8,29, $F_{(3,33)} = 20,1$ bei einem theoretischen F-Wert $F_{(3,33;\ 0,99)} = 4,44$. Der Unterschied ist also mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % auf einen Grundeffekt zurückzuführen.

In dieser Trennung erbrachte die Verwendung der Kombinationswerte RosD, dtg1 und VK% wesentliche Vorteile gegenüber den einfachen Werten. Die Reihenfolge bezüglich des größten Beitrags zur Trennung innerhalb der Variablen blieb dieselbe und auch der F-Wert lag mit $F_{(3,33)} = 7,06$ noch im 1 % Irrtumswahrscheinlichkeitsbereich. Bei der Auflistung ergab sich bei den kombinationswerten eine eindeutige scharfe Trennung, in der Graphik blieb es allerdings noch bei Überschneidungen (Abb. 14). Bei Verwendung der einfachen Werte fanden sich aus Gruppe 1 noch 11 und aus Gruppe 5 noch 5 Patienten in der Überschneidungszone.

Die Gruppen 1 und 6 wurden, wie auch die Gruppen 1 und 5, durch die Variable VK% am besten getrennt. Es folgte die RosD, welche die Trennung noch deutlich verbesserte. Der dtg1 erbrachte noch eine Verschiebung, aber keine wesentliche Verbesserung mehr. Für alle 3 Variablen zusammen: Mahal.Abst. 10,98, $F_{(3,32)} = 24,88$ bei einem Prüfwert $F_{(3,32;\ 0,99)} = 4,46$. An der Überschneidung waren aus Gruppe 1 noch 2 Patienten beteiligt, aus Gruppe 6 nur noch einer (Abb. 17, 18).

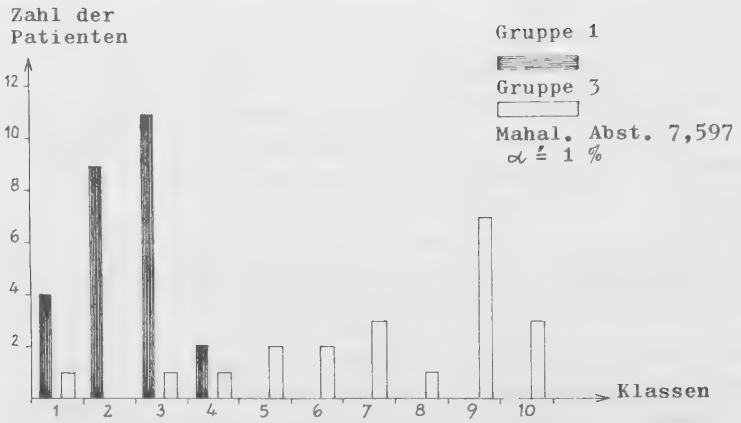


Abb. 14: Verteilung der Diskriminanzfunktionswerte zur Trennung der Gruppen 1 und 3, Variablenkombination RosD, VK% und dtg1

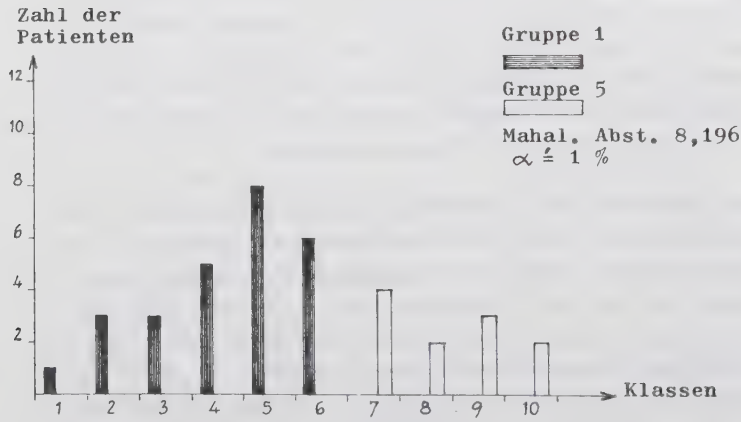


Abb. 15: Verteilung der Diskriminanzfunktionswerte zur Trennung der Gruppen 1 und 5, Variablenkombination VK% und RosD

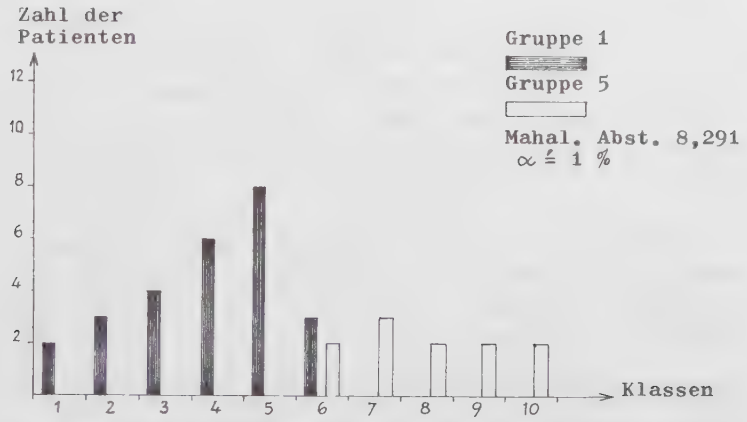


Abb. 16: Verteilung der Diskriminanzfunktionswerte zur Trennung der Gruppen 1 und 5, Variablenkombination VK%, RosD und dtg1

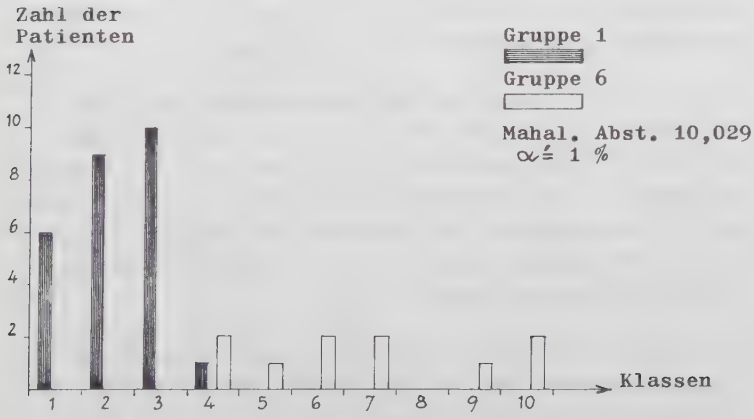


Abb. 17: Verteilung der Diskriminanzfunktionswerte zur Trennung der Gruppen 1 und 6, Variablenkombination RosD, VK%

In der Trennung mit den einfachen Werten zeigte sich die Ros der VK überlegen, der tg 1 rangierte wieder an letzter Stelle. Es waren lediglich 5 Patienten aus jeder der beiden Gruppen nicht an den Überschneidungen beteiligt. Alle anderen ließen sich nicht ausreichend trennen.

Die Trennung der einzelnen Krankheitsgruppen untereinander erfolgte schlechter als die Trennung gegenüber der Gruppe 1. Trotzdem ergaben sich auch hier signifikante Unterschiede.

Die Rangfolge der Variablen zur Trennung der Gruppen 2 und 3 lautete RosD, VK% und dtg1. Es blieb noch eine erhebliche Anzahl von Überschneidungen bestehen, trotzdem betrug der F-Test bei einem Mahal.Abst. von 2,72 $F_{(3,42)} = 9,8$ bei einem Prüfwert $F_{(3,42;\ 0,99)} = 4,21$. Damit ist die Nullhypothese auch in diesem Fall abzulehnen (Abb. 19, 20). Die Variable dtg 1 erbrachte nochmals eine deutliche Verbesserung.

Auch bei der Trennung mit den einfachen Werten blieb die Reihenfolge der Variablen gleich, der F-Wert lag noch im 99 %-Vertrauensbereich. Es kam durch die kombinationswerte aber zu einer stärkeren Blockbildung innerhalb der Gruppen und wie schon bei der Trennung 1 gegen 3 zu einem weiteren Abrücken der 3 "Fehlwerte" von den übrigen Fällen der Gruppe 3.

Zu einer guten Trennung kam es bei den Gruppen 2 und 5 mit der Rangfolge Vk%, dtg1 und RosD der Variablen. Bei einem Mahal.Abst. von 7,04 und einem $F_{(3,32)} = 16,89$ mit einem Prüfwert $F_{(3,32;\ 0,99)} = 4,46$ lag die Irrtumswahrscheinlichkeit im 1 %-Bereich. An der Überschneidung blieben noch 2 Fälle aus der Gruppe 2 und 3 Fälle aus der Gruppe 5 beteiligt (Abb. 21, 22, 23).

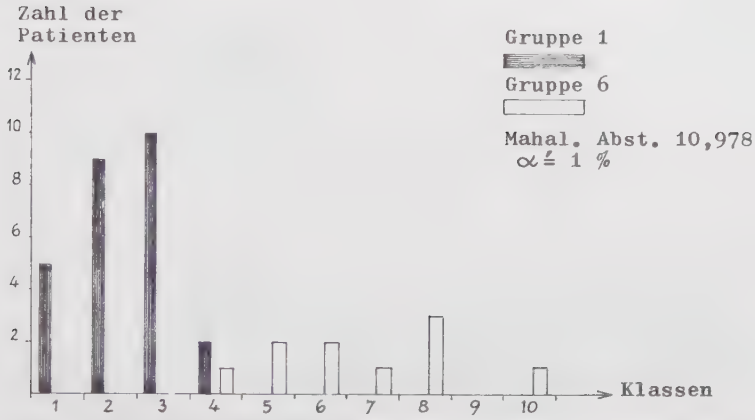


Abb. 18: Verteilung der Diskriminanzfunktionswerte zur Trennung der Gruppen 1 und 6, Variablenkombination VK%, RosD und dtg1

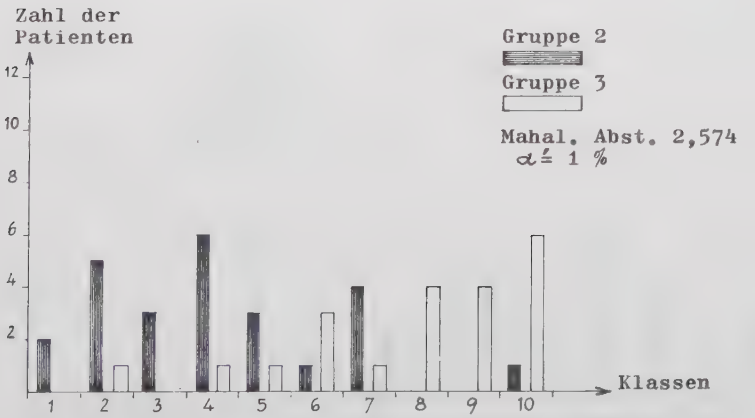


Abb. 19: Verteilung der Diskriminanzfunktionswerte zur Trennung der Gruppen 2 und 3, Variablenkombination RosD und VK%

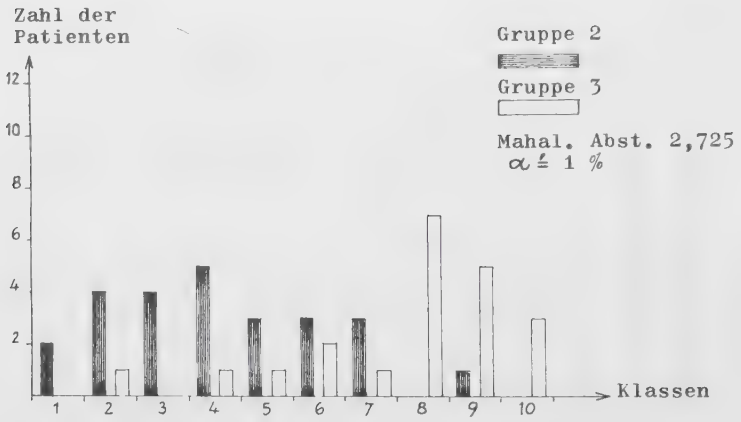


Abb. 20: Verteilung der Diskriminanzfunktionswerte zur Trennung der Gruppen 2 und 3, Variablenkombination RosD, VK% und dtg1

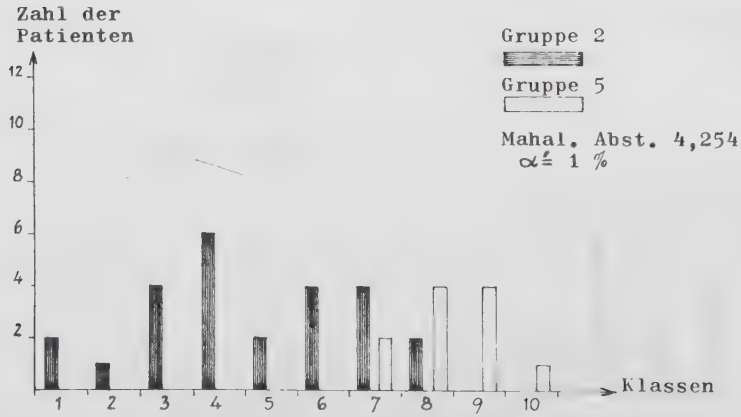


Abb. 21: Verteilung der Diskriminanzfunktionswerte zur Trennung der Gruppen 2 und 5, Variable VK%

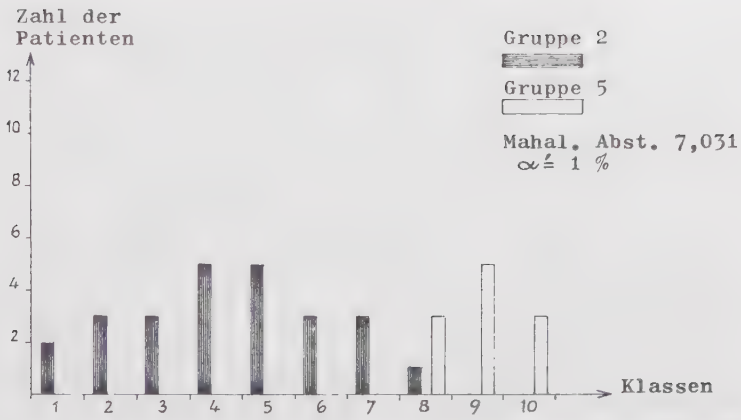


Abb. 22: Verteilung der Diskriminanzfunktionswerte zur Trennung der Gruppen 2 und 5, Variablenkombination VK%, dtg1

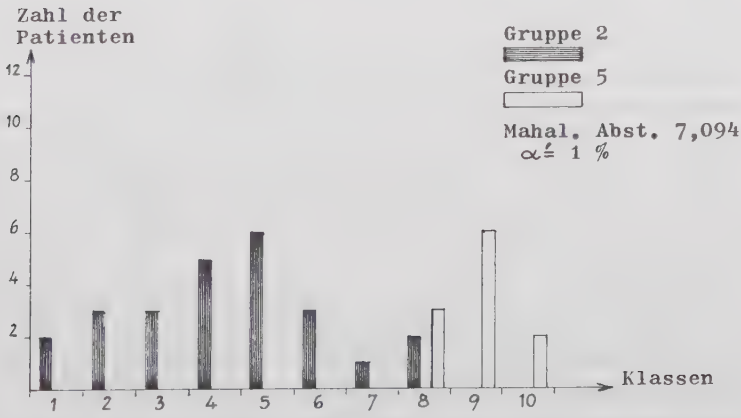


Abb. 23: Verteilung der Diskriminanzfunktionswerte zur Trennung der Gruppen 2 und 5, Variablenkombination VK%, dtg1 und RosD

Bei dieser Trennung zeigte die Verwendung von VK%, RosD und dtg1 besonders deutliche Vorteile, obwohl auch bei den einfachen Werten mit $F_{(3,32)} = 4,66$ die Irrtumswahrscheinlichkeit noch im 1 %-Bereich lag. An den Überschneidungen nahmen lediglich 9 Patienten aus der Gruppe 2 und 4 Patienten aus der Gruppe 5 nicht teil. Hier fiel die deutliche Verbesserung der Trennung durch den dtg1 im Vergleich zu tg 1 auf und auch gegenüber der VK% kam es noch zu einer wesentlichen Verbesserung (Abb. 21, 22).

Nicht so gut getrennt wurden die Gruppen 2 und 6 mit der Kombination VK%, RosD und dtg1. Bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 1$ % ist der Mahal. Abst. 4,15 bei einem Prüfwert $F_{(3,31)} = 9,28$ gegenüber dem theoretischen $F_{(3,31;\ 0,99)} = 4,48$ signifikant von 0 verschieden (Abb. 25, 25). Der dtg1 erbrachte eine leichte Verbesserung der Trennschärfe.

Auch hier zeigte sich, daß die Gruppen durch die Kombinationswerte VK%, RosD und dtg1 besser getrennt wurden und die Streuung innerhalb der Gruppen geringer war als mit den einfachen Werten. Bei der Werteeinteilung in 10 Klassen kam es bei den einfachen Werten zu Überschneidungen in allen Klassen, bei den Kombinationswerten nur noch in 2 Klassen.

Die Trennung der Gruppen 3 und 5 erfolgte in der Rangfolge RosD, Vk% und dtg1, wobei die letzte Variable noch eine leichte Verbesserung erbrachte. Der Mahal. Abst. war 6,75, der F-Wert $F_{(3,28)} = 15,15$ bei einem Prüfwert $F_{(3,28;\ 0,99)} = 4,57$ und damit gesichert von Null verschieden ($\alpha = 1$ %, Abb. 26, 27).

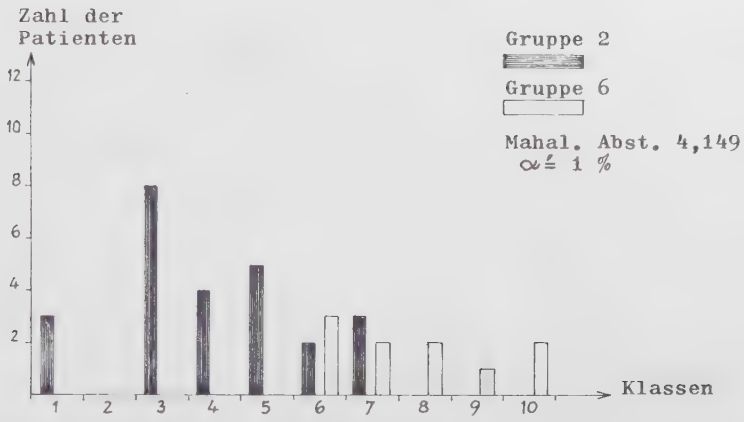


Abb. 24: Verteilung der Diskriminanzfunktionswerte zur Trennung der Gruppen 2 und 6, Variablenkombination VK% und RosD

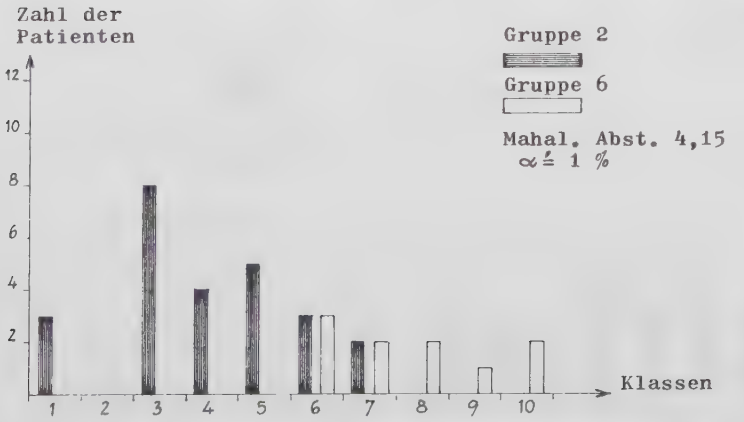


Abb. 25: Verteilung der Diskriminanzfunktionswerte zur Trennung der Gruppen 2 und 6, Variablenkombination VK%, RosD und dtg1

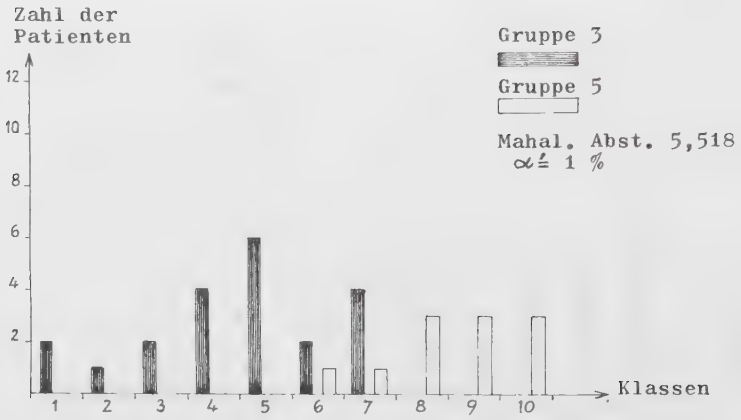


Abb. 26: Verteilung der Diskriminanzfunktionswerte zur Trennung der Gruppen 3 und 5, Variablenkombination RosD, VK%

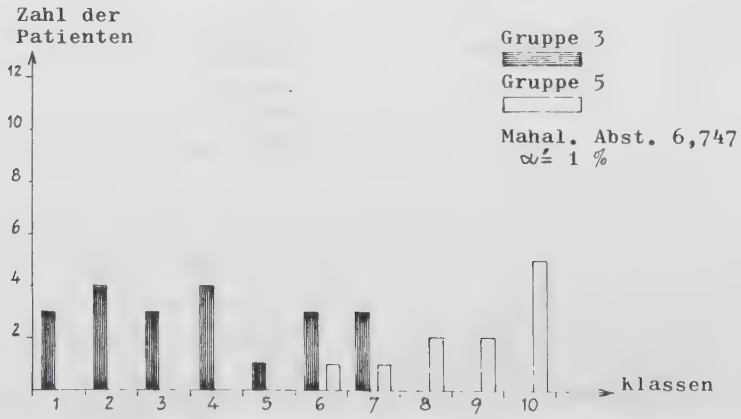


Abb. 27: Verteilung der Diskriminanzfunktionswerte zur Trennung der Gruppen 3 und 5, Variablenkombination RosD, VK% und dtg1

Die Reihenfolge der Variablen blieb in beiden Diskriminanzanalysen gleich, ebenso ergab der F-Test einen gesicherten Unterschied des Mahal.Abst. gegen Null bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von α= 1 %. Allerdings kam es bei Verwendung der einfachen Werte zu insgesamt 13 Überschneidungen in 3 Klassen, bei den Kombinationswerten nur noch zu 8 Überschneidungen in 2 Klassen.

Die Trennung der Gruppen 3 und 6 erfolgte ungenügend mit der Rangfolge VK%, RosD und dtg1. Bei einem Mahal. Abst. von 1,50 betrug der F-Wert $F_{(3,27)} = 3,14$ bei einem Prüfwert $F_{(3,27;\ 0,95)} = 2,96$ war die Irrtumswahrscheinlichkeit nur im 5 %-Bereich gelegen (Abb. 28, 29).

Die Reihenfolge bezüglich des größten Beitrags zur Trennung war bei den einfachen Werten wie folgt vertauscht: tg 1, RosMit und VK. Das Signifikanzniveau blieb noch im 5 %-Bereich. Allerdings waren hier an den Überschneidungen alle Untergruppen beteiligt, während bei den kombinationswerten nur 3 Untergruppen beteiligt waren.

Die Unterscheidung der Gruppen 5 und 6 erfolgte mit der Variablenkombination RosD, VK% und dtg1 noch im 1 % Vertrauensbereich (Abb. 30, 31). Der Mahal.Abst. betrug 3,79 bei einem Prüfwert $F_{(3,17)} = 5,92$ und einem theoretischen Wert $F_{(3,27;\ 0,99)} = 5,18$.

Bei der Trennung der beiden letzten Gruppen blieb die Rangordnung der Variablen bei den Diskriminanzanalysen bezüglich des Beitrags zur Trennung gleich. Auch der F-Test ergab in beiden Fällen, daß der Mahal. Abst. signifikant (α = 1 %) von Null verschieden ist.

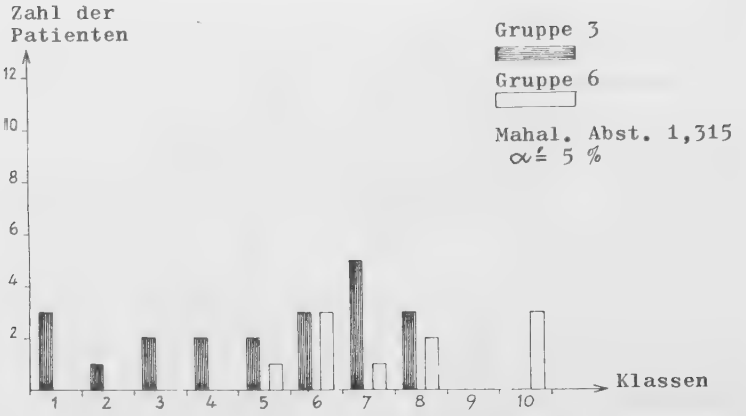


Abb. 28: Verteilung der Diskriminanzfunktionswerte zur Trennung der Gruppen 3 und 6, Variablenkombination VK% und RosD

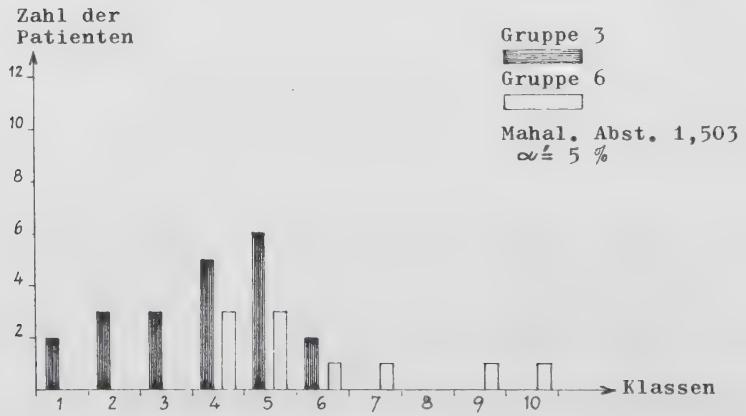


Abb. 29: Verteilung der Diskriminanzfunktionswerte zur Trennung der Gruppen 3 und 6, Variablenkombination VK%, RosD und dtg1

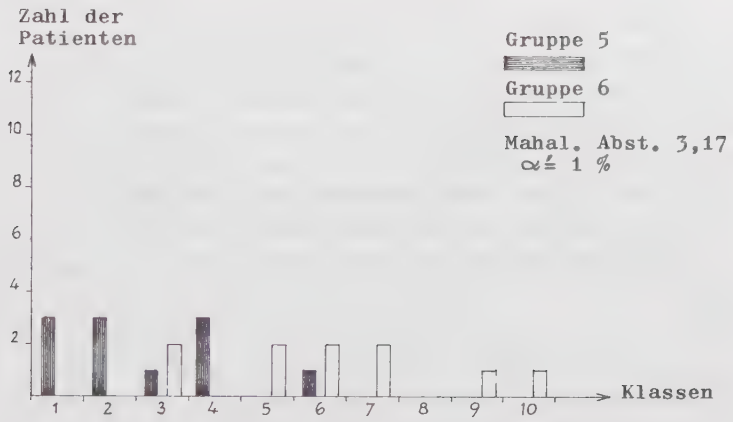


Abb. 30: Verteilung der Diskriminanzfunktionswerte zur Trennung der Gruppen 5 und 6, Variablenkombination RosD und VK%

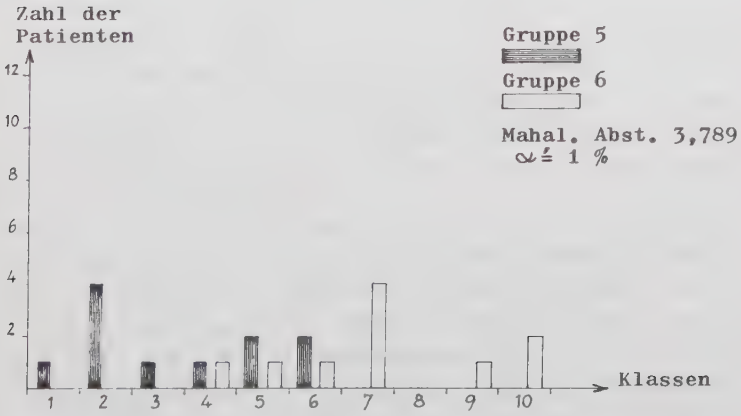


Abb. 31: Verteilung der Diskriminanzfunktionswerte zur Trennung der Gruppen 5 und 6, Variablenkombination RosD, VK% und dtg1

Allerdings zeigt sich auch hier, daß die Überschneidungen bei den Kombinationswerten in ihrer Anzahl geringer waren als die Einfachwerte. So waren einmal in 4 Klassen 11 Patienten in der Überschneidungszone, zum anderen aber nur 8 Patienten in 3 Klassen in der Überschneidungszone. Der dtg1 erbrachte eine deutliche Besserung der Trennschärfe im Vergleich zu VK% und RosD (Abb. 31).

STATISTIK

Die gesamte Datenaufbereitung (Überspielen der Daten von Lochkarten auf Magnetplatten, Kontroll- und Plausibilitätsprüfungen sowie Anlegen von Dateien) und die Datenverarbeitung (Anwendung von Programm bzw. Programmpaketen, Auswertung der Daten) wurden am Regionalen Rechenzentrum der Universität Erlangen - Nürnberg (TR 440 Dreifachprozessor) von Herrn C. Duhme, Assistent am Institut für Medizinische Statistik und Dokumentation der Universität Erlangen - Nürnberg (Leitung: Prof. Dr. med. L. Horbach) durchgeführt.

Zur Trennung der einzelnen Gruppen untereinander wurde das Programm STATSYS-P050 (lineare Diskriminanzanalyse zur Trennung zweier Gruppen) verwendet. Hierbei wurden jeweils zwei der insgesamt 5 Patientengruppen miteinander verglichen. Lediglich zum Vergleich der beiden Einteilungen - zum einen nach den Werten des Ganzkörperplethysmographen, zum anderen nach den rein optischen Bildern - wurde die Diskriminanzanalyse für alle fünf Gruppen mit Hilfe des Programms STATSYS P056 (lineare Diskriminanzanalyse für mehrere Gruppen) durchgeführt.

Die lineare Diskriminanzanalyse ist ein multivariates Trennverfahren, das auf R.A. FISHER zurückgeht und im allgemeinen für diagnostische Fragestellungen benutzt wird. Das Prinzip des Verfahrens besteht darin, daß in den nach einem Außenkriterium (z.B. Krank - Gesund) unterschiedenen Gruppen pro Fall ein Vektor $(x_1,\ldots,x_n)$ von Variablen x_1 erfaßt wird, mit Hilfe dessen eine lineare Trennformel der Form

$$D = b_1x_1 + b_2x_2 + \ldots + b_nx_n$$

mit den einzelnen Variablen x_1 gewichtenden Koeffizienten b_i so bestimmt wird, daß die Varianz von D innerhalb jeder der beiden Gruppen minimiert und zwischen den beiden Gruppen maximiert wird. Ein neuer Beobachtungsfall könnte mit Hilfe dieser Trennformel - dann natürlich ohne Außenkriterium - einer der beiden Gruppen zugeordnet werden, da die nach der Diskriminanzanalyse für beide Gruppen bekannte Verteilung von D eine trennschärfste Diagnostik ermöglicht, falls gewisse Voraussetzungen erfüllt sind. Zur Durchführung der Diskriminanzanalyse muß in die Untersuchung jede einzelne Variable eines jeden Falles eingehen. Liegt bei einem Fall (Patient) der Wert einer Variablen nicht vor, so fällt entweder der gesamte Fall oder die entsprechende Variable bei allen anderen Fällen aus.

Auf eine ausführliche Darstellung der mathematisch-statistischen Methodik soll hier verzichtet werden. Wir verweisen dabei auf die Fachliteratur (z.B. LINDER 20). Es werden hier nur einige wesentliche Punkte ausgeführt, die zum Verständnis der im kapitel 6 dargestellten Ergebnisse beitragen sollen. Ist die Streuung innerhalb einer Gruppe bei geringer Fallzahl schon bei den Realzahlen sehr groß, so kann die Forderung nach einer kleinen Summe der Streuungsquadrate nicht erfüllt werden. Dies führt dann zu einer schlechten Trennung der beiden Gruppen, auch wenn die Überschneidungen bei den Realzahlen nur gering ist. Eine große Streuung fällt somit insbesondere bei kleinen Fallzahlen ins Gewicht (s. Gruppe 6: RosD und dtg). Während des Rechenganges werden vom Programm im wesentlichen die Mittelwerte $\bar{x}_i$ für jede Variable und für jede der beiden Gruppen, die Koeffizienten b_i der linearen Diskriminanzfunktion und die individuellen

Werte

$$D = b_1x_1 + \ldots + b_nx_n$$

der linearen Diskriminanzfunktion ausgedruckt. Die Verteilungen dieser Werte für beide Gruppen liefern ein anschauliches Bild über die Trennbarkeit. Ein statistisches Maß für die Güte der Trennung ist der sogenannte Mahalanobissche Abstand M zwischen den Gruppen. Dieser wird ebenfalls vom Programm berechnet und ausgegeben. Gleichzeitig wird der F-Prüfwert für M ausgedruckt, welcher zum F-Test auf Prüfung des Mahalanobisschen Abstandes gegen Null dient. Hierbei wird von der Nullhypothese ausgegangen, daß ein Abstand zwischen den Gruppen nicht existiert bzw. zufallsbedingt ist (M = 0).

Als Alternativhypothese wird angenommen, daß ein Abstand zwischen den beiden Gruppen auf einen Gruppeneffekt, bei uns also auf die verschiedenen Erkrankungen, zurückzuführen ist. Der F-Prüfwert wird nach der folgenden Formel berechnet:

$$F = \frac{N_1 \times N_2 \,(N_1 + N_2 - NV - 1)}{NV\,(N_1 + N_2)(N_1 + N_2 - 2)} \cdot M$$

Dabei sind:

N_1 = Fallzahl der ersten Gruppe
N_2 = Fallzahl der zweiten Gruppe
NV = Anzahl der in die Untersuchung eingehenden Variablen
M = Mahalanobisscher Abstand

Ist der errechnete F-Prüfwert größer als der theoretische F-Wert, der nach Freiheitsgraden und Irrtumswahrscheinlichkeiten aufgegliedert und tabelliert ist, so kann man die Alternativhypothese annehmen. Andern-

falls darf die Nullhypothese nicht abgelehnt werden. Wir haben die F-Werte den Wissenschaftlichen Tabellen von GEIGY (1973) entnommen. Wird z.B. ein F-Prüfwert von $F_{(3,33)} = 20,14$ berechnet, so zeigt ein Vergleich mit dem 99 %-Quantil der F-Verteilung bei gleichen Freiheitsgraden, daß

$$F_{(3,33;\ 0,99)} = 4,44.$$

Deshalb ist mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p \leq 0,01$ die Nullhypothese, daß kein Unterschied zwischen den Gruppen besteht, abzulehnen. Dies bedeutet, daß die Unterschiede zwischen den Gruppen mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % nicht auf einer zufälligen Verteilung, sondern auf gruppenspezifischen Effekten beruhen.

Bei dem Programm STATSYS P056, das in der Auswertungsstufe 3 erwähnt ist, handelt es sich ebenfalls um eine lineare Diskriminanzanalyse. Hier werden jedoch alle Gruppen gleichzeitig miteinander in einer Analyse verglichen. Nach Erstellen der Diskriminanzfunktion werden alle eingegebenen Fälle in diese eingesetzt, und es werden aufgrund dessen Wahrscheinlichkeiten errechnet, mit der die Patienten den einzelnen Gruppen zuzuordnen sind. Somit läßt sich eine Klassifikationsmatrix aufstellen, die mit Hilfe der erhaltenen Anzahlen der richtigen und falschen Zuordnungen einen Anhaltspunkt für die Trennbarkeit der Gruppen gibt.

In Stufe 5 unserer Auswertungen haben wir noch Regressionsformeln eingeführt, die mit Hilfe multipler linearer Regressionen für die Variablen RosMit und sämtliche Tangens-Werte in Abhängigkeit von den Variablen Alter, Größe und relatives Gewicht errechnet wurden.

Bei der multiplen linearen Regression geht man von der Annahme aus, daß eine Variable Y durch mehrere unabhängige Variablen, z.B. X_1, X_2 und X_3, in der Form einer linearen Gleichung

$$Y = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + C$$

geschätzt werden kann. Anders ausgedrückt: Man vermutet einen linearen Zusammenhang zwischen der abhängigen Variablen Y und den unabhängigen Variablen X_1, X_2 und X_3 in der obigen Form.

Im wesentlichen sind hierbei die Koeffizienten b_1, b_2 und b_3 und die Konstante C mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate aus den gegebenen Datensätze derart zu bestimmen, daß die Abweichungen der Tupel (Y, X_1, X_2, X_3) von der Ebene

$$Y = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + C$$

möglichst gering sind. Wir wollen auch hier auf die Darstellung der einzelnen Rechenschritte zur Bestimmung der Koeffizienten b_1, b_2, b_3 und der Konstanten C verzichten. Zur Erläuterung soll lediglich ein Beispiel dienen.

Bei der multiplen Regression soll ein Wert Y in Abhängigkeit von verschiedenen, aber bekannten Variablen dargestellt werden. Die bei uns aufgestellte Formel lautet:

$$tgR1 = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + C.$$

In dieser Formel sind x_1 das Alter, x_2 die Körpergröße und x_3 das relative Gewicht des Patienten. C ist wiederum eine Konstante. Der tgR1 soll dem Wert des tg 1, der aus dem Normalkollektiv unserer Patienten errechnet wurde entsprechen. Da bei jedem Patienten Körpergewicht, Alter und relatives Gewicht leicht bestimmbar sind kann für jeden Fall der Wert des tgR als "Normwert" bestimmt

und mit dem aus dem Diagramm errechneten Wert verglichen werden. Als Einschränkung gilt jedoch, daß die Werte für Alter, Größe und relatives Gewicht innerhalb der Grenzen liegen müssen, für die die Formel bestimmt wurde. Auf die Angabe der Standardabweichungen haben wir wegen der geringen in die Formel eingegangenen Fallzahl verzichtet.

Bestimmt wurden die Regressionsformeln für RosMit geschlechtsspezifisch aus der 1. Gruppe, sowie die Formeln für die verschiedenen tg-Werte sowohl geschlechtsspezifisch als auch ohne Berücksichtigung des Geschlechts. Außerdem wurden die Formeln für die Gesundgruppe und getrennt für alle Gruppen gemeinsam bestimmt. Aufgrund des tabellarischen Vergleichs der Zahlen untereinander haben wir die Diskriminanzanalysen nur mit der Formel für tgR1 durchgeführt.

Da die mit unserer Formel für RosMit errechneten Werte nicht wesentlich von denen nach der Formel von Fischer und Matthys errechneten abwichen, haben wir die letztere für unsere Berechnungen herangezogen.

Arbeitshypothese: Besteht zwischen den einzelnen Krankheitsgruppen (1, 2, 3, 5, 6) bezüglich des "Ros am steilen Anstieg" ein signifikanter Unterschied bei einer Sigfikanzschranke von α = 1 %?

Diese Frage kann man mit Hilfe der sogenannten einfachen Varianzanalyse beantworten. Dazu stellen wir das folgende Schema auf:

Gruppe	1	2	3	5	6
Summe der Beobachtungswerte	$T_1=117,1$	$T_2=141,1$	$T_3=157,80$	$T_5=46,30$	$T_6=74,4$
Zahl der Beobachtungen	$n_1=26$	$n_2=26$	$n_3=21$	$n_5=11$	$n_6=10$
arithmetrisches Mittel	$\bar{x}_1=4,5$	$\bar{x}_2=5,44$	$\bar{x}_3=7,51$	$\bar{x}_5=4,21$	$\bar{x}_6=7,44$

Gesamtsumme der Beobachtungswerte: $T = \sum T_i = 537,0$

Gesamtzahl der Beobachtungen: $N = \sum n_i = 94$

arithm. Mittel aller Beobachtungen: $\bar{x} = T/N = 5,71$

Es liegen also t = 5 verschiedene Gruppen vor mit maximal 26 Wiederholungen (Zahl der Beobachtungen in einer Gruppe). Daraus ergibt sich die folgende Varianzanalysentabelle:

Streuung	Freiheitsgrade	SAQ (Summe der Abweichungsquadrate)	MAQ (Mittlere Abweichungsquadrate	Prüfwert F
zwischen den Gruppen	t-1=4	$S_i=162,68$	$M_i=S/t-1=40,67$	$F=M_i/M_{j(i)} = 12,18$
innerhalb der Gruppen	N-t=89	$S_{j(i)}=297,52$	$M_{j(i)}=S_{j(i)}/N - t = 3,34$	mit (t-1,N-t) Freiheitsgrad
insgesamt	N-1=93	S=460,20		

Dabei gilt:

$$S_i = \sum_{i=1}^{t} n_i \, (\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})^2$$

$$S_{j(i)} = \sum_{i=1}^{t} \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$$

$$S = S_i + S_{j(i)} = \sum_{i=1}^{t} \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{\bar{x}})^2$$

Da für $\alpha \triangleq 1\%$ und bei (4,89) Freiheitsgraden sich eine F-Prüfgröße von F = 3,54 ergibt, ist der Unterschied der "Ros am steilen Anstieg" zwischen den einzelnen Gruppen bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha \triangleq 1\%$ signifikant.

Vorzeichentest als Schnelltest nach E. Walter (33). Im paarigen Fall wird als Schnelltest die Differenz der beiden Beobachtungen beim gleichen Beobachtungspaar gebildet. X ist die Anzahl der positiven Differenzen, Y die Anzahl der negativen Differenzen. Unter der Nullhypothese ist der Median der Differenzen Null, so daß X einer Binomialverteilung mit P = 1/2 folgt. Hierfür kann man diesen Vorzeichentest verwenden. Auftretende Nullen werden nicht berücksichtigt.

Als Prüfmaß wird das Quadrat

$$\frac{(X - Y)^2}{X + Y}$$

verwendet, das daher asymptotisch einer X^2-Verteilung mit einem Freiheitsgrad folgt. Für kleine Werte von n liegen die kritischen Werte der genauen Verteilung vor. Auch hier kann eine Stetigkeitskorrektur dadurch vorgenommen werden, daß vom absoluten Betrag der Wert 1 abgezogen wird, so daß man die Formel

$$\frac{(X - Y - 1)^2}{X + Y}$$

erhält.

In unserem Fall wurde von 100 lungengesunden Probanden der Wert von Ros mit dem nach der Formel von Fischer und Matthys errechneten Wert verglichen. Es ergab sich kein signifikanter Unterschied für Meßwert und Formelwert sowohl geschlechtsspezifisch als auch in der Gesamtgruppe.

D I S K U S S I O N

Beil(17) hat gezeigt, daß in einem Kollektiv von Patienten mit kleinknotiger Anthrakosilikose im unteren Volumenbereich die Bronchialwiderstände im Vergleich zu einer Kontrollgruppe stärker anstiegen. Die Signifikanz der Mittelwertunterschiede beginnt in seiner Untersuchung erst in einem Bereich von 15 % VK mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %. Die Rt-Werte der Silikosegruppe lagen an diesem Punkt im Mittel bei 20 $\frac{\text{mbar}}{\text{l/s}}$. Mit unserer Methode lag der Punkt des steilen Anstiegs in allen Gruppen, mit wenigen über alle Gruppen verteilten Ausnahmen bei weniger als 20 % VK. Der Meßbereich für Ros wird bei 10 $\frac{\text{mbar}}{\text{l/s}}$ limitiert. In diesem Meßbereich fanden wir signifikante Unterschiede für die Mittelwerte der RosA zwischen den einzelnen Gruppen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit war kleiner als 1 %.

Ebenfalls deutliche Unterschiede konnten wir für die Mittelwerte von tg 1 und dtg 1 zwischen den einzelnen Gruppen feststellen. In Abb. 9 haben wir die in Frage kommenden Winkel für die Berechnung dargestellt. Man sieht deutlich, daß die Winkel kleiner werden, je geringer die auf der Ros-Achse verwendeten Werte sind. Da bei obstruktiven Erkrankungen die RosMin bei tiefer Inspiration höher liegt als bei Normalpersonen ist auch der Unterschied zwischen RosA - RosMin zwischen den Gruppen nicht so deutlich ausgeprägt wie der Unterschied bei alleiniger Verwendung von RosA zur Berechnung des tg.

Wir haben von einem "Normwert" für den tg 1 gesprochen und dies in Anführungszeichen gesetzt. Der Normwert wurde geschlechtsspezifisch aus der Gruppe 1 bestimmt.

Da wir nur eine beschränkte Fallzahl zur Berechnung dieses Wertes hatten kann die von uns errechnete Formel für diesen Normwert noch nicht als endgültig angesehen werden. Sie gibt aber einen Anhalt für weitere Studien.

Die RT-Werte steigen in physiologischer Weise mit zunehmendem Alter an. Ebenso nimmt die VK mit zunehmendem Alter und zunehmendem relativen körpergewicht ab. Bei zunehmender Körpergröße wird die Vk ebenfalls größer. Unter diesen Aspekten erscheint es sinnvoll Alter, Körpergröße und relatives Gewicht in die Normwertformel für tgR mit aufzunehmen. Der Tangens berechnet sich aus einem Widerstands- und einem Volumenwert.

Wir konnten zeigen, daß diese Abhängigkeit nicht nur für den Tangens, sondern auch für die Ros alleine besteht. Hierzu haben wir einen einfachen Zahlenvergleich durchgeführt. Zunächst wurde für jeden Patienten die RosD bestimmt. Nach den Formeln von Fischer und Matthys (7) haben wir wie oben beschrieben den oberen Normwert für jeden einzelnen Patienten berechnet.

Fischer und Matthys (22) geben noch weitere Formeln an: Für Männer $Ros = (2{,}5 + 2 \cdot \frac{W}{h - 100})$ und für Frauen $Ros = (3{,}0 + 2 \cdot \frac{W}{h - 100})$ • (W = Körpergewicht, h = körpergröße). Von der RosD haben wir für jeden Patienten einmal den Wert nach der ersten Formel, dann den Wert aus der zweiten Formel abgezogen. Hierbei fanden wir, daß in der Gesundgruppe bei allen Patienten negative Werte auftreten, d.h., daß bei keinem Patienten der gemessene Wert über seinem individuell bestimmten Normwert lag. Für die Differenz RosD mit der ersten Formel

lagen die Werte näher an 0 als mit der zweiten Formel. Dies bedeutet, daß die erste Formel den Normwertbereich enger faßt als die zweite. Dies zeigte sich auch an dem höchsten berechneten Normwert. Dieser lag mit der ersten Formel bei 5,1 $\frac{\text{mbar}}{\text{l/s}}$, mit der zweiten Formel bei 5,3 $\frac{\text{mbar}}{\text{l/s}}$.

Reichel (22) meint, daß Realwerte über 3,5 $\frac{\text{mbar}}{\text{l/s}}$ als so verdächtig angesehen werden müssen, daß sie der Kontrolle durch weitere Untersuchungen bedürfen. In unserer Gesundgruppe haben wir als höchsten Wert 4,8 $\frac{\text{mbar}}{\text{l/s}}$ gemessen. Nach dem Vergleich mit der Formel konnte auch dieser Wert als Normalbefund eingestuft werden. Man kann sich also unnötige Funktionsprüfungen ersparen, wenn man für jeden Patienten den individuellen Normwert berechnet.

Der Vergleich zwischen den Realwerten und den Kombinationswerten ist im Abschnitt Ergebnisse schon dargelegt. Die kombinationswerte zeigten sich bei allen Trennungen deutlich überlegen. Dies liegt unserer Meinung nach daran, daß in die Kombinationswerte Alter, Körpergröße und relatives Gewicht mit eingehen.

In Gruppe 3, also bei den Patienten mit nachgewiesener Obstruktion, sind drei negative Werte unrichtig aufgetreten, d.h., in der Untersuchung mit dem Bodyplethysmographen waren bei diesen Patienten pathologische RT-Werte aufgetreten, in der Untersuchung mit der Oszillationsmethode fanden sich aber normale Werte. Der erste Fall ist R. k., männlich, 49 Jahre, 172 cm groß mit einem relativen Gewicht von 102 %. Er hatte eine RT von 3,5 $\frac{\text{mbar}}{\text{l/s}}$ jedoch nur eine Ros von 3,1 $\frac{\text{mbar}}{\text{l/s}}$ bei einem Normwert von 4,1. Eine besondere Erklärung für dieses Verhalten haben wir nicht gefunden, wobei der RT-Wert allerdings an der unteren Grenze eines leicht pathologischen obstruktiven Befundes liegt.

Beim zweiten Fall handelt es sich um Z. R., 81 Jahre, 169 cm groß mit einem rel.G. von 118 %. Er hatte eine RT von 3,3 $\frac{mbar}{l/s}$. Die Ros betrug 3,5 $\frac{mbar}{l/s}$ bei einem Normwert von 4,6. Ulmer (31) beschreibt allerdings, daß die RT des Erwachsenen im Mittel 2,2 $cmH_2O.s.l^{-1}$ beträgt, als absolute oberste Grenze gibt er einen Wert von 3,5 $\frac{mbar}{l/s}$ an.

Das Gleiche gilt für die Patientin U. B., 67 Jahre, mit einem rel. G. von 116 %. Die RT war 3,0 $\frac{mbar}{l/s}$, die Ros betrug 4,5 $\frac{mbar}{l/s}$ bei einem Normwert von 4,7.

Demnach würde lediglich der Patient R. K. in Bezug auf die plethysmographische Messung im pathologischen Bereich liegen und wir hätten in dieser Gruppe nur einen falsch negativen Befund.

Unter den genannten Kriterien fand sich in Gruppe 6, also bei den kombinierten Ventilationsstörungen, ein falsch negativer Wert. Ö. H., 49 Jahre, 176 cm, 85 % rel. G. und einer RT von 3,9 $\frac{mbar}{l/s}$. Er erreichte eine RosMit von 2,9 $\frac{mbar}{l/s}$.

In Gruppe 5 fanden sich zwei falsch positive Werte. S. G., weiblich, 162 cm, 100 rel. G. hatte eine RT von 2,7 $\frac{mbar}{l/s}$ bei einem Sollwert von 4,4 und einem Meßwert von 6,3 $\frac{mbar}{l/s}$ für RosMit. Außerdem noch F. B., weiblich, 26 Jahre, 162 cm groß und einer RosMit von 4,1 $\frac{mbar}{l/s}$ bei einem Normwert von 4,0 $\frac{mbar}{l/s}$ bei einer RT von nur 0,9 $\frac{mbar}{l/s}$. Petro (24) gibt an, daß die Ros auch bei restriktiven Erkrankungen erhöht sei, was nach seiner Ansicht die Aussagekraft dieses Wertes erhöht. Im Vergleich mit dem oben genannten Normwert für Ros haben wir in der Gruppe mit rein restriktiven Erkrankungen aber nur zwei erhöhte Ros-Werte gefunden. Dies läßt sich auch durch den geringen Mittelwertunterschied zwischen der

Gesundgruppe und der Gruppe 5 von RosMit bestätigen. In Gruppe 1 lag dieser bei 3,15 $\frac{mbar}{l/s}$, in Gruppe 5 bei 3,51 $\frac{mbar}{l/s}$.

Nach unserer Meinung ist die Ros ebenso wie die RT bei restriktiven Erkrankungen in der Regel nicht erhöht. Zur Differenzierung von restriktiven Erkrankungen gegenüber der Gesundgruppe ist die VK % sicher besser geeignet. Bölcskei (2, 3) hat schon früher auf die Bedeutung des Phasenwinkels, insbesondere im Zusammenhang mit einem tiefen Inspirationsmanöver hingewiesen.

Bölcskei und Magnussen (22) beschreiben, daß bei Patienten mit gesicherter Fibrose die Phasenwinkel bei tiefer Inspiration stärker negativ werden als bei lungengesunden Probanden oder bei anderen Lungenerkrankungen. Dieses Verhalten könnte zur Differenzierung von Fibrosen mittels der Oszillationsmethode beitragen. Allerdings hat Bölcskei (pers. Gespräche) bei lungengesunden Jugendlichen bei tiefer Inspiration ebenfalls negative Phasenwinkel gefunden. Ansonsten tendierten die Phasenwinkel bei Patienten ohne Restriktion oder ohne deutliche Adipositas bei tiefer Inspiration eher zu positiven Phasenwinkeln.

Magnussen (22) beschreibt in Ruheatmung ebenso wie Bölcskei positive Phasenwinkel für Patienten ohne Obstruktion oder Emphysem, findet aber zunehmend negative Phasenwinkel bei tiefer Inspiration für lungengesunde Probanden, für Patienten mit Asthma bronchiale und für Patienten mit restriktiven Lungenerkrankungen. Korn (16) hat die gleichen Feststellungen getroffen. Hier besteht zwischen den Autoren eine deutliche Diskrepanz, die jedoch nach Bölcskei (pers. Gespräch) auf die unterschiedlichen Frequenzen zurückzuführen ist. Obwohl wir für die Ros nachweisen konnten, daß der Frequenzunterschied von

10 Hz und 12,5 Hz keine Rolle spielt, scheint dies bei der Phasenwinkelmessung anders zu sein. Dies haben wir jedoch in der vorliegenden Arbeit nicht überprüft. Laut Bölcskei spielt hierbei die Resonanzfrequenz der Lunge eine wesentliche Rolle.

Magnussen (22) hat parallel zu den Untersuchungen mit Luft eine Untersuchung mit einem He/O_2-Gemisch durchgeführt. Erwartungsgemäß fand er hier bei niedrigerer Gasdichte niedrigere Realteile (Ros) als bei Luftatmung, zusätzlich fand er jedoch, daß die Phasenwinkel negativer wurden.

Die Ros ist sicher zur Erkennung von restriktiven Erkrankungen nicht geeignet. Hier bietet sich, wie oben erwähnt, möglicherweise der Phasenwinkel an, eventuell zusammen mit den aus dem Volumen-Resistance-Diagramm gewonnenen tg-Werten und eventuell noch der RosD. Eine erhöhte RosMit oder RosD in Kombination mit einer kleinen VK % deutet eher auf eine kombinierte Ventilationsstörung hin. Eine isoliert erhöhte Ros ist sicher nicht als Hinweis auf eine Restriktion zu werten.

In Gruppe 2, also der Gruppe mit Verdacht auf Emphysem und / oder Lungenblähung fanden sich bei insgesamt 8 Patienten zu hohe Werte für RosD.

Zumindest bei zwei Patienten könnte die Zugehörigkeit zur Gruppe 3 diskutiert werden. Es handelt sich hier um Q. M., männlich, 56 Jahre, 175 cm groß mit einem relativen Gewicht von 78 %. Die RT betrug 3,0 $\frac{mbar}{l/s}$, was nach unserer Definition grenzwertig ist, nach Ulmer (31) allerdings noch im Normbereich liegt. Beim zweiten Fall handelt es sich um eine 30-jährige Patientin, M. L., 161 cm Körpergröße, einem rel. G. von 91 % und einer RT von 2,9 $\frac{mbar}{l/s}$.

Auch dieser Wert könnte als grenzwertig angesehen werden. Die gemessene RosMit war mit 4,8 $\frac{mbar}{l/s}$ bei einem Normwert von 3,6 $\frac{mbar}{l/s}$ jedoch sicher pathologisch.

Bei der Patientin N. K., 78 Jahre, 162 cm, 96 % rel. G. wurden RT-Messungen vor und nach B2-Stimulation durchgeführt. Sie hatte vor Stimulation eine RT von 5,4 $\frac{mbar}{l/s}$, danach von 2,7 $\frac{mbar}{l/s}$. Hier ist die Ros-Messung im VRD vor der 2. RT-Messung erfolgt. Sie ergab eine RosMit von 4,7 $\frac{mbar}{l/s}$ bei einem Normwert von 4,5 $\frac{mbar}{l/s}$.

Ein weiterer Fall war der Patient W. L., 68 Jahre, 165 cm Körpergröße, 90 % rel. G. und einer RT von 2,4 $\frac{mbar}{l/s}$. Der ermittelte RosMit ergab 5,2 $\frac{mbar}{l/s}$ bei einem Normwert von 4,2 $\frac{mbar}{l/s}$. Bei diesem Patienten fiel bei der nochmaligen Kurvenkontrolle auf, daß die Werte der Ruheatmungskurven sehr stark schwankten und bei einem gleichzeitig geschriebenen Phasen-Winkel-Diagramm die Ros 3,5 $\frac{mbar}{l/s}$ betrug. Allerdings fand sich bei diesem Patienten auch bei kleiner VK % ein als pathologisch anzusehender tgγ1.

Bei den restlichen 4 Patienten fanden sich eindeutig erhöhte RosMit-Werte bei normaler RT. Bei der Gruppeneinteilung konnten Grenzbefunde, wie sie oben beschrieben sind, nicht mit berücksichtigt werden. Wir haben den für die RT allgemein gültigen obersten Absolutwerte von 3,0 als wesentliches Kriterium für die Gruppeneinteilung verwendet. Bei stärkerer Differenzierung nach den Werten von Ulmer wären verschiedene Patienten möglicherweise in andere Gruppen einzuteilen. Möglicherweise spielen aber bei der Messung unserer Fehlwerte noch andere, bisher unbekannte Faktoren eine Rolle.

Aufgrund unserer Ergebnisse glauben wir, daß die RosMit aus der Ruheatmungskurve im VRD verglichen mit dem nach der Formel von Fischer und Matthys errechneten Wert für

die Routine eine gute Aussagekraft besitzt. Eine Diagnosestellung mittels der abgelesenen Ros-Werte ohne Berücksichtigung der individuellen Werte des Patienten scheint uns im Grenzbereich nicht möglich.

Die Auswertung der gemessenen Volumina erbrachte nur deutliche Unterschiede zwischen den Gruppen bei der VK in % des Sollwertes nach Amrein bzw. Baldwin. Mit diesem Wert konnten die Gruppen 5 und 6 gut von der Gruppe 1 und ausreichend von 2 und 3 getrennt werden. Dieser Wert kann aber zur Stellung der Diagnose einer restriktiven Erkrankung nicht ausreichen, da insbesondere auch bei Obstruktionen und auch beim Lungenemphysem kleine relative Vitalkapazitäten errechnet werden können. Dies spiegelt sich besonders bei der Trennung der beiden Gruppen 3 und 6 gegeneinander wider. Da die verwendete Methode die Beurteilung der Totalkapazität nicht erlaubt haben wir versucht einen gruppenspezifischen Zusammenhang für die einzelnen meßbaren Volumina zu finden.

Insbesondere interessiert uns hierbei das VA (Volumen bis zum steilen Anstieg), RVI, RVE, im Zusammenhang mit diesen beiden Werten auch die Atemmittellage, und das VP (Volumen bis zum Beginn des Plateau).

Wir konnten jedoch keine deutlichen Gruppenunterschiede feststellen, so daß wir diesen Weg nicht weiter verfolgten.

Förster (22) hat gemessen, daß das Volumen und die Ros nicht gleichzeitig sondern phasenverschoben registriert werden. Beim Vorschalten von variablen Widerständen hat er Momentanwertmessungen durchgeführt und eine Zeitdifferenz von 0,75 sec. bis zum Vollausschlag der Ros gemessen. Bei diesen Messungen wurde jedoch eine abrupte Widerstandsänderung durchgeführt.

Wir haben das Atemmanöver Inspiration mit nachfolgender Exspiration sehr langsam ausführen lassen. Hierdurch kam es in der Zeiteinheit nur zu kleinen Volumenverschiebungen und damit auch nur zu kleinen Änderungen im Widerstandsbereich.

Wir haben beobachtet, daß bei allen Probanden der Gesundgruppe und der Gruppe 5 sowie bei der Mehrzahl der Patienten der anderen Gruppen bei tiefer Inspiration die Ros kontinuierlich fiel bis zu einem Minimalwert. Bei den übrigen Patienten kam es nach dem kontinuierlichen Abfall noch zu einem plötzlichen steilen Abfall der Ros ohne wesentliche Volumenbewegung. Zu Beginn der langsamen Exspiration kam es zu einem Ros-Anstieg, ehe wesentliches Volumen registriert wurde, also die Ros dem Volumen voraus eilt, um dann in die sogenannte Plateauphase über zu gehen. Dieses Verhalten ist klar von Artefakten (Abb. 7) abzugrenzen, da im Anschluß an einen Artefakt die Ros-Werte wieder absinken um auf das Niveau der Ruheatmungskurven zu fallen. Wir konnten bei der Momentanwertschreibung in keinem Fall ein Vorauseilen des Volumens registrieren. Mit jeder Volumenänderung konnte auch eine Änderung der Ros-Werte registriert werden.

Ein ähnliches, aber ausgeprägteres Verhalten konnten wir am Punkt der tiefen Exspiration beobachten. Hier kam es gegen Ende der langsamen Exspiration zu einem steilen Anstieg der Ros, ohne daß noch große Volumina ausgeatmet wurden. Bei Beginn der Inspiration fielen die Ros-Werte zunächst steil ab, erst dann setzte die Volumenschreibung ein, also war auch hier ein Vorauseilen von Ros gegenüber V zu beobachten.

Möglicherweise spielt das Hinterhereilen der Ros-Registrierung, die Förster beobachtet hat, nur bei forcierter Atmung eine Rolle. Es scheint allerdings so zu sein, daß bei langsam ausgeführten Atemmanövern dieses Verhalten keine wesentliche Rolle spielt.

Unerklärt ist bisher der oben angeführte Anstieg der Ros bei Beginn der Exspiration. Hier müssen andere, bisher noch nicht näher definierte, Kräfte wirksam werden. Geht man von der Atemphysiologie aus, so ist die Exspiration ein passiver Vorgang. Sobald die Muskelspannung der Thoraxmuskulatur nachläßt bekommen die elastischen Kräfte das Übergewicht. Hierdurch könnte sich eine rasche Querschnittsänderung der Atemwege ergeben, ohne daß bereits Volumen ausgeamtet werden muß. Dies könnte insbesonders eine Rolle in den sogenannten kleinen Atemwegen (Durchmesser kleiner als 2 mm) spielen, wo eine geringe Durchmesseränderung nur geringe Volumenveränderungen verursacht, der Widerstand aber durch eine Querschnittsänderung relativ stark verändert werden könnte.

Der Trägheits- und Reibungswiderstand der Luft sind bei geringer und langsamer Volumenänderung sicher zu vernachlässigen. Über den Einfluß der Muskelspannung von Thoraxmuskulatur und Zwerchfell auf die Ros ist bisher nur bekannt, daß sie eine Rolle spielen. Welches Gewicht ihnen dabei zu kommt ist unbekannt.

Geht man von der Theorie aus, daß bei Ende der Exspiration das Verschlußvolumen erreicht wird und erklärt damit den steilen Anstieg, so kann der plötzliche Abfall der Ros zu Beginn der Inspiration durch das Öffnen der kleinen Atemwege erklärt werden, was dem umgekehrten Mechanismus entspräche. Dies wäre nach unserer Meinung eine Erklärung für den steilen Anstieg der Ros am Ende

der Exspiration und den steilen Abfall am Anfang der Inspiration. Der zunächst steile, aber relativ kurze Anstieg am Anfang der Exspiration bedarf noch weiterer Klärung.

Aufgrund unserer Ergebnisse sind wir der Meinung, daß die Variable dtg1 bei der Auswertung eines größeren Kollektivs noch mehr an Bedeutung gewinnt. Aus unseren Diskriminanzanalysen ist zu entnehmen, daß die in den Gruppen gemessenen Unterschiede (Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha \leq 1\ \%$) nicht auf einer zufälligen Verteilung, sondern auf gruppenspezifischen Effekten beruhen.

Von den Gruppen 2 bis 6, also Verdacht auf Lungenemphysem und/oder Lungenblähung, Obstruktion mit Verdacht auf Lungenemphysem und/oder Lungenblähung, Restriktion und kombinierte Ventilationsstörung läßt sich lediglich die Gruppe 2 nur relativ unscharf von der Gesundgruppe trennen. Hier fällt auf, daß der dtg1 den größten Beitrag zur Trennung der Gruppen lieferte. Diese Variable erbrachte auch noch eine Verbesserung der Trennschärfe der Gruppen 1 und 3 sowie 1 und 6, obwohl sie hier nicht den größten Beitrag zur Trennung lieferte. Bei der Trennung der Gruppen 1 und 5 erbrachte diese Variable eher eine leichte Verschlechterung, was allerdings durch die große Streuung bei kleiner Fallzahl erklärt werden könnte. Die große Streuung ist durch die beiden Fehlwerte in der Gruppe 5 bedingt (s. Kapitel Statistik).

Bei der Trennung der einzelnen Krankheitsgruppen untereinander erbrachte der dtg1 jeweils noch eine deutliche Verbesserung der Trennschärfe, wobei er einmal die 2. Rangstelle einnahm. Die Trennung der Gruppen 2 gegen 3 und 2 gegen 6 sowie 3 gegen 6 erfolgte nur relativ unscharf, die übrigen kamen an die Trennschärfe der Gesundgruppe gegenüber den Krankheitsgruppen heran.

Die Zuordnung verspricht aufgrund der durchgeführten Diskriminanzanalysen recht gut zu sein (s.o.). Für die Fortsetzung dieser Arbeit, die als Pilotstudie gedacht war, ist eine größere Patientenzahl wünschenswert, denn damit könnten die Streubereiche - relativiert zu der Anzahl der Fälle - verkleinert und somit noch exaktere Trennergebnisse erzielt werden, d.h., Trennungen möglichst ohne Überschneidungen in den Verteilungen der Diskriminanzfunktionswerte der unterschiedenen Gruppen.

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit haben wir versucht festzustellen, ob es mit Hilfe der oszillatorisch aufgezeichneten Volumen-Resistance-Kurve möglich ist eine ähnlich gute Trennung der verschiedenen pulmonalen Erkrankungen wie mit der bisher üblichen Lungenfunktionsanalyse durchzuführen. Hierzu haben wir bei 94 Patienten gleichzeitig mit der Lungenfunktionsanalyse Volumen-Resistance-Kurven aufgezeichnet. Aufgrund der Werte aus der Untersuchung mit der herkömmlichen Methode wurden die Patienten in 5 Gruppen eingeteilt (lungengesunde Probanden, Patienten mit Verdacht auf Lungenemphysem und/oder Lungenblähung, Patienten mit obstruktiver Lungenerkrankung, Patienten mit restriktiver Lungenerkrankung und solche mit kombinierter Ventilationsstörung). Anschließend wurden die Gesundgruppe und die Krankheitsgruppen gegeneinander mit Hilfe der linearen Diskriminanzanalyse nach den Werten der herkömmlichen Lungenfunktionsanalyse getrennt. Hier fanden sich noch Überschneidungen bei der Trennung der Gruppen der Lungengesunden und der Patienten mit Verdacht auf Lungenemphysem. Die Trennung der lungengesunden Probanden gegen

die restlichen Gruppen erfolgte scharf. Nach Voruntersuchungen haben wir lineare Diskriminanzanalysen mit den Variablen RosD = Differenzwert aus errechnetem Normwert und gemessenem Wert für Ros, VK% und dtg1 = Differenz aus errechnetem Normwert und gemessenem Wert für den Tangens im Volumen-Resistance-Diagramm (s. S. 20) durchgeführt. Es zeigte sich, daß die Trennungen nicht ganz so scharf waren wie die Trennungen nach den Werten der herkömmlichen Lungenfunktionsanalysen, trotzdem können die Ergebnisse als gut bis sehr gut bewertet werden. Lediglich ließ sich die Gruppe der Emphysempatienten nicht gut von der Gruppe der Lungengesunden, sowie die Gruppe der Obstruktionen von den Patienten mit kombinierter Ventilationsstörung trennen. Die gute Trennung der übrigen Gruppen ist zum Teil sehr wesentlich auf den dtg1 zurückzuführen, so daß wir glauben, daß diesem Wert bei weiteren Untersuchungen an einem größeren Patientenkollektiv noch mehr Gewicht gegeben werden sollte.

LITERATURVERZEICHNIS

1. Beil, M.; Knorpp, K.; Ulmer, W.T.:
Verschlußvolumen und Resistance-Lungenvolumen-Beziehung bei kleinknotiger Anthrasilikose.
Lung 154 75 - 87 (1976)

2. Bölcskei, P.:
Aspekte der Phasenwinkelregistrierung in der oszillatorischen Impedanzmessung.
Aus der Pneumologischen Station der II. Med. Klinik des Städtischen klinikums Nürnberg

3. Bölcskei, P.:
klinische Erfahrungen mit der oszillatorischen Bestimmung des Atemtraktwiderstandes.
Tagunsbericht d, Österreichischn Gesell. f. Lungenerkrankungen und Tuberkulose,
Graz 1976

4. Briscoe, W.; DuBois, A.B.:
The Relationship between airway resistance, airway conductance and lung volume in subjekts of different age and body size.
J. Clin. Invest. 37 1279

5. DuBois, A.B.; Brody, A.W.; Lewis, D.H.; Burgess, B.F.:
Oscillation mechanics of the lungs and chest in man.
J. Appl. Physiol. 8 (1956) 587 - 599

6. Fischer, A.B.; DuBois, A.B.; Hyde, R.W.:
Evaluation of the forced oscillation technique for determination of resistance to breathing.
J. Clinic. Invest. 47 1968, 2.045 - 2.057

7. Fischer, J.; Matthys, H.:
Reference values for the forced oscillation technique to determine the resistance of the respiratory system Abstracts of the Scientific Columnications at the Annual Meeting of the Swiss Society for Respiratory Diseases, Lausanne, April 28 - 29, 1978

8. Geigy
Wissenschaftliche Tabellen
Geigy Pharmazeutika, Wehr (Baden), 7. Auflage 1973

9. Goldmann, M.; Knudsen, R.H.; Mead, R.; Peterson, N.; Schwaber, J.R.; Wohl, M.E.:
A simplified measurement of respiratory resistance by forced oscillation.
J. Appl. Phys. 28/1, 1. January 1970

10. Ingram, R.H.; O'Cain, Ch.F.; Friday, S.S.jr.:
Simultaneous quasi-static lung pressure-volume-curves and "closing-volume" measurements.
J. Appl. Phys. 36/2, Febr. 1974

11. Islam, M.S.; Ulmer, W.T.:
Diagnostic value of "closing-volume" in comparison to "airway resistance/Lung volume plott".
Respiration 31: 449 - 458 (1974)

12. Islam, M.S.; Ulmer, W.T.:
Der Strömungswiderstand in den Atemwegen und das Lungenvolumen.
Deuts. med. Wochenschrift 102 (1977) 1.187 - 1.190

13. Jeremie, U.; Woitowitz, H.-J.; Flügel, E.:
Erfahrungen mit einer praxisgerechten Methode zur Atemwiderstandsmessung.
Sinderdruck, Jahrestagung d. Deuts.Gesell.f. Arbeitmed. e.V. Mai 1978, Frankfurt/Main

14. Kappos, A.D.:
Forced oscillation measurement of airway resistance in diagnosis of extrinsic bronchial-asthma.
Proceedings of The Third Charles Blackley Symposium on the Clinical Aspects of Allergic Disease at the University of Nottingham, England, 10 th - 15 th April 1978

15. Korn, V.:
Der Siregnost FD 5 - ein vielseitiges und praxisgerechtes Diagnosegerät für die Lungenfunktion
Siemens Erlangen

16. Korn, V.; Franetzki, M.; Prestele, K.:
A simplified approach to measurement of respiratory impedance.
International Titisee Conference on Tiomedical Engineering and Data Processing in Pulmonology Oct. 20th, 1978

17. Kroidl, R.F.:
Inhalativer Provokationstest mit Allergenen in der fachärztlichen Praxis
Praxis der Pneumologie 32 (1978) Heft 8, 521 - 582

18. Korte, W.:
Zur Bedeutung des Phasenwinkels bei der oszillatorischen Atemwiderstandsmessung.
Prax. Pneumol. 33 (1979) 845 - 856

19. Landser, F.J.; Nagels, J.; Demedts, M.; Billiet, L.; Woestihne,; Van De, K.P.:
A new method do determine frequency characeristics of the respiratory system.
J. Appl. Phys. 41, No. 1, July 1976

20. Linder, A.:
Statistische Methoden
Birkhäuser Verlag Basel und Stuttgart,
4. Auflage 1964

21. Nieding, von, G.; Smidt, U.; Löllgen, H.; Worth, G.:
Neuere Überwachungsmethoden der Lungenfunktion für den werksärztlichen Dienst.
16. Jahrestagung der Deut. Ges. f. Arbeitsmedizin
05. - 08.05.1976, Köln

22. Nolte, D.; korn, V.:
Oszillatorische Messung des Atemwiderstandes
Dustri-Verlag Dr. Karl Feistele, München-Deisenhofen, 1979

23. Nolte, D.; Ulmer, W.T.:
Die Strömungswiderstände im normalen Tracheobronchialbaum und bei obstruktiven Atemwegserkrankungen.
Beitr. klin. Tuberk. 136, 320 - 329 (1967)

24. Petro, W.; Nieding, v.G.; Böll, W.; Smidt, U.:
Determination of resistance to breathin by an oscillation method - studies of long-term and short-term variability and dependence upon lung volume and compliance
Lung 1979

25. Smidt, U.; Muysers, K.:
Eine einfache Vergleichs-Oszilllations-Methode zur objektiven Bestimmung der Strömungswiderstände in den Atemwegen.
Chronic Inflam. of the Bronchi. Prog. Resp. res.
Vol. 6, pp 402 - 407

26. Smidt, U.; Nieding v., G.:
Reference values for males and females for resistance to breathing determined by forced oscillation.
5th General Meeting of the S.E.P.C.R., Advances in Clinical Resp. Phys., Milan Symposium, 31.05. - 03.06.1977

27. Smidt, U.; Löllgen, H.; Nieding v., G.; Moers Franetzki, M.; Korn, V.; Prestele, K., Erlangen:
A new oscillation method for determining resistance respiratory
Verhandlungen d. Ges. f. Lungen- und Atmungsforschung 1976, Band VI

28. Smidt, U.; Muysers, K.:
A simplified oscillation method with electronic signal handling for the determination of airway impedance
Bull. Physiol.-path. resp. 1971, 7, 281 - 290

29. Smidt, U.; Nieding v., G.; Löllgen, H.:
Frühdiagnostik obstruktiver Atemwegserkrankungen in der Praxis mit Hilfe der oszillatorischen Impedanz
Österreichische Gesellschaft f. Lungenerkrankungen und Tuberkulose
Tagunsbericht der Arbeitsgemeinschaft f. klin. Atemphys., Graz 1976

30. STATSYS
Gesellschaft f. Strahlen- und Umweltforschung mbH München
Institut f. Med. Datenverarbeitung, März 1973

31. Ulmer, W.T.; Reichel, G.; Nolte, D.:
Die Lungenfunktion
Georg Thieme Verlag Stuttgart, 1976
2. überarbeitete Auflage

32. Vastag, E.; Islam, M.S.; Ulmer, W.T.:
Der Zusammenhang zwischen dem aktuellen Lungenvolumen und dem Strömungswiderstand in den Atemwegen bei gesunden Versuchspersonen und bei Patienten mit chronisch obstruktiver Atemwegserkrankung.
Pneumologie 147, 29 - 40, 1972

33. Walter, E.:
Biomathematik für Mediziner.
Teubner Studienbuch, Mathematik 1975

Herrn Prof.Dr.med. Helmuth K l e i n f e l d e r
danke ich für die Überlassung des Themas.

Herrn Dr.med. P. B ö l c s k e i, leitender Oberarzt
der pulmologischen Abteilung, danke ich für die Unterstützung bei den Untersuchungen und für die Hilfe bei
der Ausarbeitung.

Für die Beratung in statistischen Fragen und die Durchführung der statistischen Berechnungen sowie die Hilfe
bei der Abfassung des Kapitels Statistik bin ich
Herrn C. D u h m e vom Institut für Medizinische
Statistik und Dokumentation der Friedrich-Alexander-
Universität Erlangen-Nürnberg, Leitung Prof.Dr. L.
H o r b a c h , zu großem Dank verpflichtet.

L e b e n s l a u f

Am 09.04.1948 wurde ich, Ernst Helmut B a u m a n n , als Sohn des Facharztes für Lungenkrankheiten Dr. Rudolf Baumann und der Ärztin Dr. Herta Baumann, geb. Odrich, in München geboren.

Im September 1954 trat ich in die Volksschule Starnberg ein und wechselte 1959 in das Naturwissenschaftlich-Mathematische Gymnasium Starnberg, wo ich 1968 das Reifezeugnis erhielt.

Das Medizinstudium begann ich 1969 an der Ludwig-Maximilian-Universität in München und legte dort nach naturwissenschaftlicher und ärztlicher Vorprüfung im Sommer 1975 das Staatsexamen ab.

Während meiner Medizinalassistentenzeit arbeitete ich am Kreiskrankenhaus Cham auf der chirurgischen und am Krankenhaus der Missionsbenediktinerinnen in Tutzing auf der internen Abteilung.

Im November 1976 begann ich mit der Weiterbildung zum Facharzt für Innere Medizin am Krankenhaus Forchheim und setzte sie ab Mai 1977 an der 3. Medizinischen Klinik am Klinikum Nürnberg fort. Im Dezember 1979 wechselte ich in das Radiologische Zentrum am Klinikum Nürnberg.

Seit Dezember führe ich meine Ausbildung im Zentralkrankenhaus Gauting auf der Pneumologischen Abteilung fort.

E. Baumann